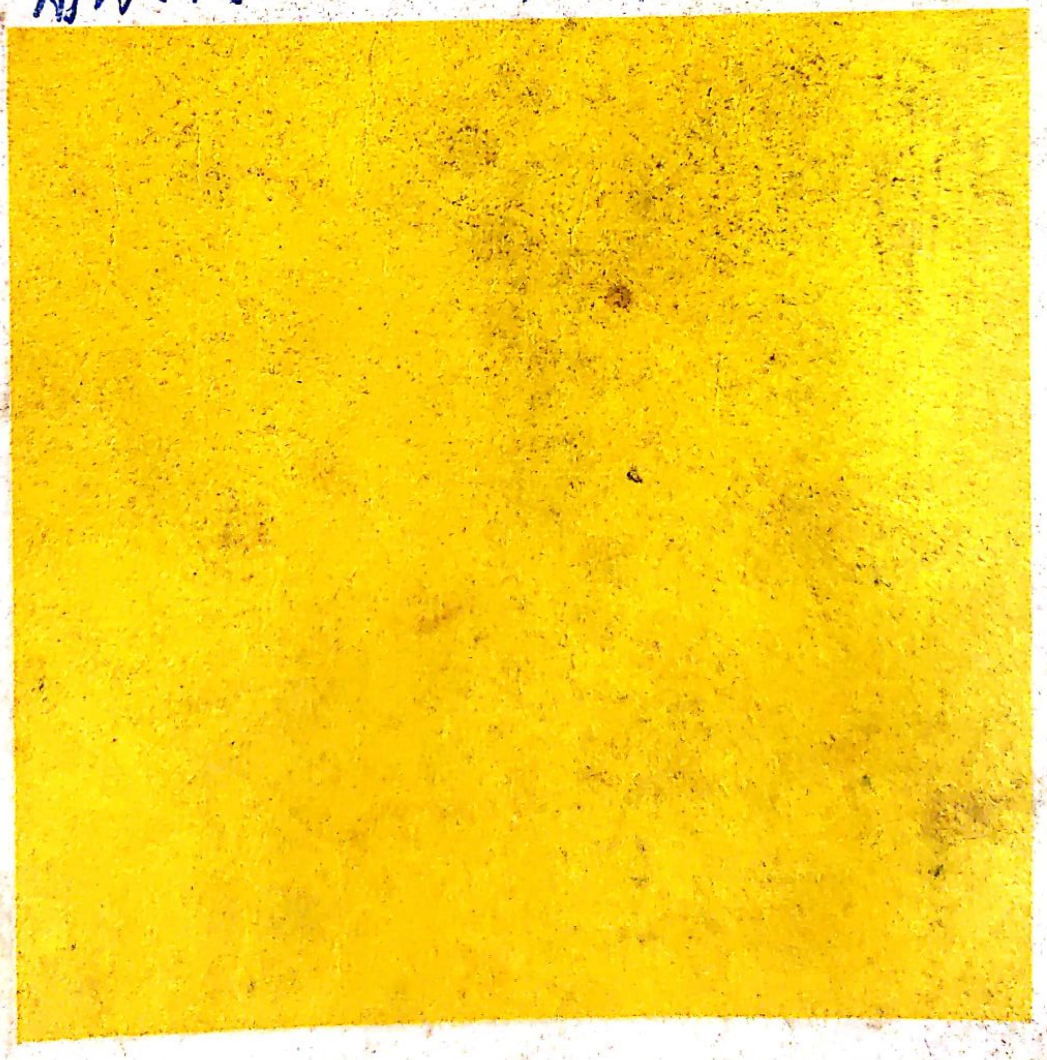
EB

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

J.L. RIGAL

Timpul şi gîndirea fizică contemporană

MANOLESCU / ION



EDITURA ENCICLOPEDICĂ ROMÂNĂ

Scanned with OKEN Scanner

Autorii care au participat la elaborarea acestei lucrări

BERNARD CAGNAC	Profesor la Facultatea de științe din Paris
JACQUES CLAVIER	Inginer-șef al aviației
PIERRE COSTABEL	Director de studii la Școala practică de înalte studii
OLIVIER COSTA DE BEAUREGARD	Șef de cercetări la C.N.R.S.
BERNARD DECAUX	Membru al Institutului Franței
JEAN DELHAYE	Astronom titular la Observatorul din Paris
PAUL GERMAIN	Profesor la Facultatea de științe din Paris
MICHEL HENON	Șef de cercetări la C.N.R.S.
JEAN-LOUIS KAHN	Inginer-cercetător
ROBERT LENNUIER	Profesor la Facultatea de științe din Paris
LOUIS MARIOT	Profesor la Facultatea de științe din Dijon
JEAN-LOUIS RIGAL	Profesor la Facultatea de științe din Besançon

Scanned with OKEN Scanner

EB

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

Timpul şi gîndirea fizică contemporană

Sub redacţia lui
J.-L. RIGAL
Profesor la Universitatea
din Besançon

Editura enciclopedică română
Bucureşti • 1972

Scanned with OKEN Scanner

Prefață

„Credința că universul este rațional — scria John Bernal — și că toate elementele sale pot fi deduse din principii fundamentale cu ajutorul exclusiv al logicii a servit, desigur, la începuturile științei grecești, la eliberarea oamenilor de prejudecăți. Mai tîrziu însă, îndeosebi după ce Aristotel a devenit o autoritate incontestabilă, această abordare abstractă și aprioricâ, în loc să stimuleze cercetările, cum a dorit-o el, s-a dovedit dezastruoasă pentru știință. Ea a făcut generații de oameni inteligenți să creadă că au rezolvat probleme pe care nici măcar nu începuseră să le cerceteze[1]*“.*

Cuvintele lui J.D. Bernal referitoare la cultura clasică greacească atrag atenția asupra unei primejdii care planează permanent deasupra științelor și care poate deveni acută îndeosebi după obținerea unor succese remarcabile pe baza unei teorii. De aceea, pe lîngă clarificarea desăvîrșită a semnificației conceptelor utilizate de teoreticienii științei, se impune și o permanentă confruntare a lor cu datele mereu reînnoite și îmbogățite ale experienței. Această operație este

[1] *J. D. Bernal, Știința în istoria societății*, Editura politică, București, *1964*.

Scanned with OKEN Scanner

de o importanță cu atît mai mare cu cît caracterul fundamental al conceptelor este mai pregnant. Timpul este unul dintre acele concepte de bază ale fizicii care sînt implicate în interpretarea datelor primordiale furnizate de observație și experiment și pe care se ridică edificiul teoriilor fizice.

Lucrarea de față, alcătuită dintr-o suită de studii semnate de remarcabili specialiști francezi din domeniul fizicii teoretice, mecanicii și astronomiei, își propune să supună unei analize amănunțite fundamentarea experimentală și evoluția semnificației noțiunii de timp. Trebuie să atragem atenția cititorului că nu toate capitolele culegerii au același grad de accesibilitate. Totuși credem că întregul volum poate fi parcurs cu folos de oricare cititor interesat de problemele filozofice ale fizicii, sărind eventual peste unele pasaje „tehnice". De asemenea se cuvine să menționăm că autorii articolelor propun anumite soluții unor probleme fizice sau filozofice astăzi încă deschise. Așadar, nu poate fi vorba de acceptarea integrală sau necritică a acestor soluții.

Prima parte a culegerii se ocupă de metodele de măsurare a timpului. În articolul său, J. L. K a h n analizează mersul raționamentelor care conduc la degajarea noțiunii obiective de timp universal. Autorul evidențiază caracterul artificial al noțiunii newtoniene de timp absolut, „curgînd în mod egal fără nici o legătură cu ceva extern".

Metodele de măsurare a timpului pot fi împărțite în două categorii distincte. Anume, aceste metode sînt bazate pe existența unor fenomene în care se evidențiază fie variația p r e s u p u s ă uniformă a unei mărimi, cum ar fi spațiul parcurs de un mobil în mișcare rectilinie și uniformă, fie variația p r e s u p u s ă periodică a unei alte mărimi, cum ar fi oscilațiile unui pendul. Dat fiind că nu există decît aceste metode de măsurare, noțiunea de timp absolut rămîne exterioară realității, ea nu are un conținut real, pentru că în univers nu există nici mișcări perfect uniforme, nici perfect periodice. Într-adevăr, existența unor astfel de mișcări reclamă reducerea universului la un s i s t e m f i n i t ș i i z o l a t evoluînd în spațiul infinit și lipsit de materie. În acest fel trebuie interpretată afirmația lui J.L. Kahn cu privire la „existența spațiului vid".

Scanned with OKEN Scanner

P. Germain, renumit specialist din domeniul mecanicii teoretice, se ocupă de problema timpului în cadrul mecanicii clasice, pe care o situează în prelungirea geometriei euclidiene. Avem de-a face cu o imagine idealizată a lumii, care are avantajul de a fi susceptibilă de o studiere matematică riguroasă. În cîteva pagini admirabile este prezentată structura logică a mecanicii teoretice, din care se desprinde ca idee de bază afirmaţia că mecanica newtoniană conţine în mod organic noţiunea de timp uniform, prin intermediul principiului inerţiei. P. Germain nu uită să atragă atenţia asupra valabilităţii limitate a conceptelor mecanicii clasice raportate la dezvoltarea cunoaşterii, arătînd că nu trebuie acordată „o încredere aproape metafizică unei scheme elaborate de ştiinţă". Astfel, de exemplu, ipoteza caracterului absolut al simultaneităţii, care decurge din caracterul absolut al timpului, trebuie părăsită în cazul fenomenelor în care intervin viteze comparabile cu viteza luminii, deşi experienţa noastră „curentă", care îmbrăţişează fenomene tocmai din domeniul valabilităţii mecanicii clasice, este în deplin acord cu această ipoteză.

Prima parte a culegerii se încheie cu patru studii în care sînt prezentate amănunţit principalele probleme ce se ridică în faţa astronomilor şi fizicienilor care se ocupă de măsurarea precisă a timpului. J. Delhaye îşi consacră articolul evoluţiei sistemelor de măsurare a timpului prin mijloace astronomice. Autorul arată în ce mod se pot folosi mişcările orbitale ale astrelor, rotaţia Pămîntului, mişcarea anuală a Soarelui faţă de Pămînt pentru stabilirea unui „reper" sau a unei unităţi pentru timp, arătînd totodată care sînt cauzele concrete care împiedică depăşirea unei anumite precizii. Este de menţionat distincţia pe care J. Delhaye o face între cronologie şi cronometrie. Astronomii au nevoie doar de o corectă situare a observaţiilor lor de-a lungul unui reper neîntrerupt al timpului. Această cronologie poate fi realizată pe deplin prin mijlocirea unor măsurători astronomice. Fizicienii în schimb, cercetînd fenomene cu o durată mai mică, se izbesc de problema realizării unei cronometrii ideale. Nevoia de etaloane de timp din ce în ce mai „scurte" şi mai stabile a crescut odată cu dezvoltarea fizicii atomice şi subatomice. Metodele

Scanned with OKEN Scanner

folosite în acest scop sînt prezentate în articolul lui B. C a g n a c. Ideea de bază a tuturor dispozitivelor moderne constă în utilizarea fenomenelor periodice din scara atomică. B. D e c a u x arată care sînt mijloacele actuale de distribuire a timpului de la centrele care posedă cronometre foarte precise la beneficiarii care se pot găsi la distanțe foarte mari. Stabilirea vîrstei corpurilor cerești este problema predilectă a astrofizicienilor. M. H e n o n prezintă pe scurt ideile actuale din acest domeniu. Studierea rocilor lunare, care a început nu demult, și apropiata studiere a rocilor de pe Marte vor contribui la lămurirea problemei vîrstei sistemului nostru solar. Pînă în prezent studierea rocilor lunare confirmă teoria după care sistemul solar ar avea aproximativ 5 miliarde ani.

Legătura indisolubilă dintre spațiu și timp a primit o formulare concretă abia în cadrul teoriei relativității restrînse. Ideea unei structuri unice a spațiu-timpului, nouă în comparație cu concepțiile mecanicii clasice, nu a fost străină lui Aristotel. Într-adevăr, ocupîndu-se de analizarea conținutului cunoscutelor paradoxuri ale lui Zenon, P. C o s t a b e l arată că încă Aristotel a remarcat că interpretarea lor corectă pretinde admiterea unei structuri de același fel a spațiului și timpului. Mai mult decît atît, Aristotel arată că „fără schimbare și mișcare timpul nu există", depășindu-i astfel cu mult pe însuși Newton și pe urmașii săi care au adoptat ideea timpului absolut. P. Costabel arată că istoria umană demonstrează ireversibilitatea timpului prin progresul cunoașterii. Într-o formulare atît de generală a problemei nu putem să nu menționăm că progresul cunoașterii reprezintă doar un aspect al evoluției generale și ireversibile a societății.

În continuare L. M a r i o t prezintă etapele principale ale drumului care a condus la descoperirea spațiu-timpului. Se remarcă în mod just că trecerea de la geocentrism la heliocentrism nu a constituit un mare pas înainte din punctul de vedere al concepțiilor despre spațiu și timp, întrucît ambele sisteme astronomice sînt conciliabile cu ideea spațiului absolut. În legătură cu geneza teoriei relativității, L. Mariot reeditează exagerarea, consacrată de o întreagă literatură de specialitate, de a acorda experienței lui Michelson un rol mai important decît a avut

Scanned with OKEN Scanner

în realitate. Merită să menționăm, pentru cititorii interesați de mecanismul apariției teoriilor științifice, că experiența lui Michelson nu a fost cunoscută de Einstein în momentul creării teoriei sale[1]. Aceasta nu diminuează însă cu nimic valoarea deosebită a acestei experiențe ca argument major în favoarea teoriei relativității.

În teoria relativității restrînse Einstein a ridicat pentru prima oară legătura dintre spațiu și timp la rangul unei relații fundamentale pentru formularea tuturor legilor fizicii. Ideea acestei relații a trecut astfel pentru întîia oară din domeniul teoriei pure în acela al fizicii susceptibile de confruntare directă cu experiența. Trebuie să subliniem că în formularea concretă a relațiilor spațio-temporale rolul esențial este jucat de constanta c (valoarea vitezei luminii în vid). Prezența lui c, cu rangul de constantă universală, este expresia legăturii profunde a relațiilor spațio-temporale cu lumea materială. Ideea acestei legături a primit o mai mare dezvoltare în cadrul teoriei relativității generale.

În studiul său consacrat principiului relativității și echivalenței fizice dintre spațiu și timp, O. Costa de Beauregard, cunoscut pentru numeroasele sale lucrări din domeniul problemelor principiale ale fizicii, se ocupă de cele două aspecte ale relației spațiu-timp, pe care le numește aspectul „aristotelic" și aspectul „bergsonian". Aspectul aristotelic constă în spațializarea timpului, care se manifestă prin necesitatea de a exprima timpul prin mișcare. Aspectul „bergsonian" constă în înțelegerea timpului ca devenire, a cărui caracteristică este ireversibilitatea. Întrucît în mai multe locuri din prezenta culegere se fac referiri la concepțiile filozofului francez H. Bergson, credem că este necesar să deschidem aici o paranteză.

H. Bergson (1859—1941) este reprezentantul de frunte al unui curent idealist, dualist, cunoscut sub numele de intuiționism. În cele ce urmează ne vom mărgini la menționarea sumară a părerilor sale în legătură cu problema

[1] G. Holton, în „American Journal of Physics", vol. 37, nr. 10/1969. Se poate consulta și T. Vescan, în „Știință și tehnică", nr. 7/1970.

Scanned with OKEN Scanner

timpului, indisolubil legate de concepțiile lui în domeniul teoriei cunoașterii. Bergson considera că cunoașterea se realizează prin intuiție și prin intelect. Intelectul este, după părerea lui, un factor negativ, care „separă în spațiu și fixează în timp", reducînd evoluția la o serie de stări. Criticînd cunoașterea realizată doar prin intelect, Bergson reproșează oamenilor de știință contemporani că își fac imagini statice, mecaniciste sau, cum am zice noi, nedialectice asupra fenomenelor. Pentru filozoful francez, factorul pozitiv al cunoașterii este intuiția, pe care el o opune cunoașterii rationale, conceptuale; singură intuiția poate realiza imaginea evolutivă a fenomenelor. Intuiția este astfel, în concepția bergsoniană, o capacitate irațională de a sesiza nemijlocit esența fenomenelor. Pentru ea timpul este devenire continuă; fiecare clipă poartă în sine nu numai clipa precedentă, de care se deosebește, ci și clipa următoare, care se va deosebi de ea, „durata" fiind astfel concretă și creatoare, și, prin aceasta, ireversibilă.

În bună parte sistemul lui Bergson este o reacție împotriva pozitivismului și a gîndirii metafizice-mecaniciste în general. În măsura în care această reacție a contribuit la deșteptarea unor filozofi, oameni de știință și scriitori occidentali și în special francezi, ea a avut unele efecte pozitive, și este de înțeles că acelora ce nu cunosc dialectica lui Hegel și în special a lui Marx și Engels, timpul conceput ca devenire și deci ireversibil poate să le apară, ca lui O. Costa de Beauregard, un aspect „bergsonian" de o „originalitate extraordinară".

Din păcate, filozofia lui Bergson a constituit și o reacție împotriva materialismului și ca atare este viciată în esența ei de iraționalism și idealism. Cît despre timp în concepția bergsoniană, în ciuda aspectelor pozitive ale acesteia, el este considerat ca rupt de materie, dar în schimb puternic legat de eul individual. Tocmai de această orientare subiectivistă—profund nefavorabilă unei analize științifice a conceptului de timp în condițiile noilor realizări ale științei — se dovedește influențat autorul unuia din articolele cuprinse în culegere, J. Clavier.

Din analiza lui O. Costa de Beauregard rezultă limpede că în cadrul teoriei relativității restrînse geometrizarea sau spațializarea timpului nu numai că nu exclude aspectul

Scanned with OKEN Scanner

relației spațiu-timp legat de ireversibilitate, dar chiar îl înglobează. Ordonarea în timp a fenomenelor este determinată de relațiile lor cauzale. Două fenomene legate cauzal sînt înregistrate de orice observator în aceeași succesiune, mai întîi cauza, apoi efectul, iar acest lucru decurge din existența unei viteze maxime comune de propagare a acțiunilor și informațiilor. Există și fenomene care apar unor observatori într-o succesiune, iar altora, eventual, într-o altă succesiune. Aceste fenomene nu sînt însă legate cauzal, astfel încît ele evoluează independent. Numai pentru această categorie de fenomene dispare distincția dintre trecut și viitor. În acest fel teoria relativității leagă sensul timpului de evoluția cauzală a fenomenelor. Iată sensul major al discuției lui O. Costa de Beauregard cu privire la separarea spațiu-timpului în trei domenii distincte de către „conul de lumină".

Partea a treia a culegerii se ocupă de abordarea statistică a noțiunii de timp. Trebuie să distingem aici două orientări ale cercetărilor teoretice. Mai întîi este vorba de stabilirea sensului de curgere a timpului pe baza urmăririi modului în care se desfășoară fenomenele ireversibile. În al doilea rînd este vorba de cuprinderea noțiunii de timp în ansamblul noțiunilor cu care operează microfizica și care au un caracter esențial statistic-probabilist.

În termodinamică evoluția fenomenelor se exprimă prin intermediul entropiei. Entropia este o funcție de stare a sistemului, adică o mărime care depinde de parametri termodinamici care caracterizează sistemul, așa cum sînt temperatura, presiunea etc. Ea este o funcție nedescrescătoare: constantă în timpul desfășurării proceselor reversibile și crescătoare în decursul fenomenelor ireversibile. În conformitate cu al doilea principiu al termodinamicii, sistemele izolate evoluează în sensul creșterii entropiei.

Ideea de bază a mecanicii statistice este de a explica proprietățile sistemelor macroscopice pornind de la constatarea că aceste sisteme sînt alcătuite dintr-un număr foarte mare (de ordinul numărului lui Avogadro, 10^{23}) de particule care se supun legilor mecanicii. Caracteristicile sistemelor macroscopice luate în ansamblul lor dobîndesc astfel semnificații statistice. Cînd se cunoaște starea mecanică a

Scanned with OKEN Scanner

fiecărei particule care intră în componența sistemului, se spune că este dată s t a r e a m i c r o s c o p i c ă *a sistemului. Pentru cunoașterea* s t ă r i i t e r m o d i n a m i c e *a sistemului nu este necesară cunoașterea stării microscopice, acest lucru este, de altfel, imposibil, datorită tocmai numărului imens de particule. Există un număr mare de stări microscopice distincte care corespund aceleiași stări termodinamice a sistemului; acest număr poartă numele de* p r o b a b i l i t a t e t e r m o d i n a m i c ă, *iar mecanica statistică oferă mijloacele necesare pentru calcularea acestui număr. Mărimile care caracterizează proprietățile macroscopice ale sistemului se pot calcula tocmai din probabilitatea termodinamică. Entropia, după cum a demonstrat Boltzmann, reprezintă un număr proporțional cu logaritmul probabilității termodinamice. Starea de echilibru termodinamic corespunde valorii maxime a probabilității termodinamice (și deci și a entropiei) sistemului, iar procesele ireversibile, reprezentînd evoluția sistemului spre starea de echilibru, corespund evoluției în sensul crescător al probabilității termodinamice.*

Elementul esențial nou față de termodinamică prevăzut de mecanica statistică este existența f l u c t u a ț i i l o r. *Fluctuațiile reprezintă treceri spontane ale sistemului dintr-o stare de echilibru într-una de neechilibru, iar un astfel de proces este însoțit de scăderea entropiei. Probabilitatea unei fluctuații scade însă foarte rapid cu creșterea dimensiunilor sistemului și cu mărimea fluctuației. Din punct de vederea experimental așadar, faptul că se înregistrează sau nu o fluctuație, adică un proces în care entropia scade, depinde de fenomenul studiat și de timpul avut la dispoziție pentru urmărirea fenomenului. Astfel, după cum a arătat M. Smoluchowsky, ireversibilitatea își pierde caracterul absolut și dispare contradicția dintre caracterul strict reversibil al proceselor elementare, guvernate de legile mecanicii clasice sau cuantice, și caracterul ireversibil al fenomenelor de masă, ale căror legi sînt deduse din acelea ale proceselor elementare.*

Considerațiile de mai sus au rostul de a apropia pe cititor de afirmația care reprezintă punctul de plecare al articolului lui O. C o s t a d e B e a u r e g a r d și anume că ireversibilitatea nu este dedusă, ci postulată. Din analiza

Scanned with OKEN Scanner

profundă a lui O. Costa de Beauregard se desprind cîteva concluzii interesante. Astfel, pentru a lega ireversibilitatea timpului de evoluția fenomenelor trebuie să luăm în considerare cosmosul în ansamblul său, în care caz însă conceptele obișnuite cu care operează fizica trebuie reconsiderate cu grijă. Stabilirea echivalenței dintre principiul creșterii entropiei și principiul acțiunilor întîrziate pe baza unei analize epistemologice este, credem, un rezultat nou, asupra căruia urmează să se pronunțe specialiștii din domeniul mecanicii statistice (vezi nota 2 de la p. 157).

În ultima parte a articolului său O. Costa de Beauregard analizează succint legătura dintre ireversibilitatea timpului și informație. Exprimîndu-ne concis putem spune că sensul timpului este legat de creșterea cantității de informație. În actuala teorie a informației, informația joacă un rol asemănător cu cel al entropiei în mecanica statistică. Posibilitatea stabilirii unei relații între informație și entropie a fost pusă în evidență de L. Szilárd în 1929, cu douăzeci de ani înaintea apariției cărții lui C.E. Shannon și W. Weaver, care este considerată îndeobște drept actul de naștere al teoriei informației[1]. Ideea lui Szilárd, dezvoltată ulterior de L. Brillouin, este următoarea. Obținerea unei informații asupra unui sistem implică o interacțiune a acestui sistem cu aparatele de măsură, iar această interacțiune induce o transformare ireversibilă și deci o creștere a entropiei sistemului. Cititorul familiarizat cu mecanica cuantică va remarca desigur înrudirea spirituală a acestei idei cu cele care se întîlnesc în „experiențele mintale" ale lui Bohr, Heisenberg și Einstein, în care se examinează sensul fizic al relațiilor de incertitudine și care erau la ordinea zilei tocmai în acea perioadă.

Problema de bază a teoriei informației constă în primul rînd în definirea calitativă și cantitativă a informației. Avertizînd cititorul asupra pericolului subiectivismului, O. Costa de Beauregard arată că pentru a găsi în cadrul teoriei informației temeiuri obiective ale ireversibilității timpului „în noțiunea de informație legată trebuie să existe ceva în mod obiectiv ireductibil". Sub influența lui Bergson autorul este însă tentat să ilustreze

[1] L. Szilárd, în „Zeitschrift für Physik", vol. 53, p. 840, 1929.

Scanned with OKEN Scanner

tezele enunțate în spațiul mult îngustat al conștiinței. Astăzi este un fapt bine stabilit că înmagazinarea și transmiterea informațiilor se realizează în sisteme mult mai simple decît cele ale „psihismelor încarnate".

Legăturii dintre timp și informație îi este consacrat și articolul lui J. C l a v i e r. Autorul încearcă să fundamenteze caracterul probabilist al timpului prin intermediul acestei legături și ținînd seama de caracterul probabilist al noțiunii de informație. Observația lui Clavier merită toată atenția, însă analiza sa este superficială și profund impregnată de concepțiile filozofice idealist-subiective ale autorului. Astfel, de exemplu, autorul consideră „noțiunea de timp ca fiind inseparabilă de ființa gînditoare". Cît de departe ne aflăm aici de concepțiile exprimate de O.C. de Beauregard! Puțin mai departe de pasajul citat, Clavier reformulează cunoscuta teză idealist-dualistă a lui Bergson conform căreia memoria este independentă de materie; Clavier prezintă îmbătrînirea biologică ca un proces mecanic, rupt de procesele informaționale. Este cunoscut faptul că în cadrul cercetărilor actuale de microfizică există încercări de a lega îmbătrînirea celulelor tocmai de anumite modificări ale fluxului informațional.

Ultimul articol al culegerii semnat de R. L e n n u i e r este consacrat analizei noțiunii de timp în fizica modernă. Autorul recapitulează ideile care stau la baza noțiunii de timp în mecanica clasică, pentru a prezenta apoi, prin opoziție, dezvoltarea acestei noțiuni în teoria relativității restrînse și în mecanica cuantică. Conceptul timpului relativ este introdus pornind de la critica simultaneității absolute și de la analiza experienței lui Michelson, fiind apoi ilustrat prin experiențele considerate azi clasice de determinare a timpului de viață al miuonilor din razele cosmice. Această analiză completează în mod fericit discuția lui O. Costa de Beauregard cu privire la paradoxul gemenilor.

În continuare, Lennuier prezintă dificultățile principale care apar în interpretarea desfășurării temporale a fenomenelor cuantice.

Fenomenele fizicii clasice fac parte din aceeași categorie cu fenomenele utilizate pentru cronometrie. În acest sens putem spune că „timpul obiectului

Scanned with OKEN Scanner

studiat" coincide cu „timpul observatorului". Explicația profundă a acestei situații rezidă în faptul că fenomenele studiate sînt toate în acord cu determinismul clasic, exprimat prin intermediul unor legături cauzale dinamice. Obiectele cuantice se supun însă unor legități statistice, probabiliste. Legile fenomenelor cuantice „nu mai sînt deterministe, în sensul obișnuit al acestui termen", spune Lennuier. Nu este vorba de afirmarea indeterminismului, ci doar de o terminologie inadecvată. Prin determinism, „în sensul obișnuit al acestui termen", Lennuier denumește determinismul clasic, mecanicist, care reprezintă în realitate cea mai simplă, dar nu și singura formă pe care o îmbracă determinismul. Trebuie să ținem seama de această observație și pentru a interpreta corect ceea ce autorul denumește „estompare" sau „disoluție" a noțiunii de timp la scara microfizicii. Este vorba, în mod vădit, de faptul că fenomenele și obiectele studiate nu mai fac parte din aceeași categorie cu fenomenele clasice utilizate pentru definirea „timpului observatorului". În încercarea de a defini „timpul obiectului studiat" pe baza desfășurării fenomenelor cuantice se ajunge la un timp avînd proprietăți complet diferite de cel determinat prin fenomene macroscopice. Exemplul „orologiului radioactiv" amănunțit prezentat de autor ilustrează foarte clar tezele menționate. Concluzia că „timpul își pierde orice semnificație la scara microfizică", pe care autorul încearcă să o justifice și cu ajutorul relației de incertitudine energie-timp a lui Heisenberg, este însă greșită, nefiind suportată, după părerea noastră, nici de substanța articolului. Ea apare mai degrabă ca o interpretare exagerată a terminologiei folosite de autor. Este suficient să menționăm că relația de incertitudine energie-timp, care este în deplin acord cu datele experimentale, departe de a anihila noțiunea de timp, nu poate fi nici formulată, nici înțeleasă fără a apela la această noțiune.

Să menționăm în încheiere cîteva aspecte ale cercetărilor actuale care nu și-au găsit locul în acest volum. În teoria particulelor elementare un rol deosebit este jucat de condiția „cauzalității microscopice", care este așezată la baza încercărilor de formulare a legilor dinamice. Această condiție reprezintă extrapolarea cauzalității din teoria relativității restrînse la domeniul microcosmosului, adică pentru dis-

Scanned with OKEN Scanner

tanțe mai mici decît 10^{-13} cm și durate mai mici decît 10^{-20}s. Este evident, pe de o parte, că o atît de mare extrapolare a condiției cauzalității și implicit a concepțiilor despre spațiu și timp reprezintă o ipoteză. Pe de altă parte însă, trebuie să subliniem că pînă în prezent nu există nici un rezultat experimental care să pună sub semnul întrebării legitimitatea acestei extrapolări. Putem considera acest fapt ca o justificare a absenței din volum a prezentării unor concepte radical diferite preconizate tocmai pentru tratarea fenomenelor din domeniul microcosmosului. Ne gîndim la teoria mai veche a cuantificării spațiului și timpului (Ambarțumian, Ivanenko, 1930), cît și la teoriile mai noi cu privire la spațiu-timpul stocastic sau fluctuant (Marcov, Blohințev, Ingraham, 1948—1968).

În altă ordine de idei se cuvine menționată descoperirea unor procese elementare care par să contrazică așa-numita i n v a r i a n ț ă T. Fenomenele reversibile sînt descrise de legi care nu se modifică dacă se schimbă semnul timpului. Aceasta reprezintă invarianța T. În 1964 s-a constatat existența reacției de dezintegrare a mezonului K_L într-un mezon π^+ și un mezon π^- (Christensen, Cronin, Fitch și Tarlay). Existența acestui proces poate fi explicată fie prin încălcarea așa-numitei teoreme PCT, ceea ce ar implica reconsiderarea concepțiilor care stau la baza actualei teorii a particulelor elementare, dar nu ar atrage după sine în mod necesar încălcarea invarianței T, fie prin încălcarea invarianței T, fără a afecta valabilitatea teoremei PCT. A doua posibilitate ar putea constitui punctul de plecare al unei abordări cu totul noi a problemei ireversibilității. În etapa actuală nu pot fi însă trase concluzii în favoarea vreuneia dintre aceste posibilități.

TOMA VESCAN

Cuvînt înainte

Cunoașterea și gîndirea științifică alcătuiesc o parte în continuă creștere a culturii moderne, pe care o impregnează într-un mod tot mai esențial. Prin aplicațiile mijlocite de sora lor — tehnica —, ele sînt totodată prezente în viața noastră de toate zilele.

Se pune însă întrebarea dacă structura, substanța însăși a cunoașterii și gîndirii științifice pot fi comunicate oricui este dispus să facă efortul minim necesar pentru a înțelege semnificația marilor adevăruri științifice și pentru a le discerne importanța și limitele exacte.

Cunoașterea și gîndirea științifică au, firește, un caracter special, și nu s-ar putea pune problema de a expune temeinic în cîteva pagini modul de mînuire a unor unelte intelectuale a căror elaborare lentă în sînul comunității oamenilor de știință a necesitat secole întregi și a solicitat strădania perseverentă a celor mai mari genii. Fără *o gîndire precisă, așezată pe un vocabular nu mai puțin precis*, nu poate fi vorba de a stabili o comuni-

Scanned with OKEN Scanner

care reală cu una sau alta dintre disciplinele științifice, tot astfel precum nu poți beneficia plenar de bogățiile unei lucrări filozofice sau a unei opere de artă fără un minim de cunoștințe în legătură cu limbajul gînditorului sau al artistului. Sau, mai bine zis, fără a avea *o experiență suficientă pentru a le pătrunde în adîncime.*

Cu toate acestea, orice om care are bunăvoința necesară, chiar dacă nu este om de știință, trebuie să aibă posibilitatea de a lua contact — fecund pentru el — cu realitățile științei și de a pătrunde ceva mai adînc și mai intim în gîndirea care constituie substratul lor, mai ales că această gîndire nu este nici ezoterică și nici străină de realitatea cotidiană în care își are izvorul, ci în profundă consonanță cu ea. Ceea ce urmărim în această lucrare este tocmai de a-l ajuta pe cititor să ia un astfel de contact cu un mod de gîndire ale cărui manifestări prezintă **un interes ce depășește obiectul lor nemijlocit.** *Aceasta dovedește o dată în plus unitatea genului uman: oamenii de știință trăiesc și ei aventura lumii, la care participă din plin, fiecare cu propriile sale responsabilități și talente, dar fără ca între ei și contemporanii lor să poată exista vreo barieră.*

Cărțile de inițiere științifică de acest fel năzuiesc în fond să degaje cît mai clar posibil punctele de vedere fundamentale și să precizeze ce înseamnă și, cu atît mai mult, ce nu înseamnă (căci nu există un pericol mai grav decît falsele analogii verbale și concordanțele facile) enunțuri ca „Pămîntul se învîrtește în jurul Soarelui", „Virusul este o ființă vie", „Universul este finit", „Timpul se scurge". Sau, dacă vreți, următoarele enunțuri pe care le veți găsi în această lucrare colectivă (de altfel, caracterul ei colectiv subliniază faptul că noțiunea de *timp* reprezintă *o confluență esențială a gîndirii fizice contemporane)*: „Timpul este o realitate statistică" sau „Timpul, informația, acțiunea și viața sînt strîns legate între ele".

Autorii s-au străduit, așadar, să desprindă din tehnicitatea extremă a lucrărilor lor, precum și din fastidiosul

Scanned with OKEN Scanner

ansamblu al experiențelor migăloase pe care le fac zi de zi *rațiunea* și *semnificația conceptelor* elaborate, debarasîndu-și expunerea de aspectele mai tehnice, care nu sînt, adesea, decît cele mai puțin importante: în acest domeniu copacii au, mai mult decît în oricare altul, tendința de a ascunde pădurea.

Desigur că sarcina aceasta de curățire a ramurilor de prisos este dificilă. **Fără un asemenea efort de depășire a aspectelor tehnice nu poate exista însă o adevărată cultură; totodată nu poate exista o cultură autentică acolo unde lipsește instrumentul tehnic, vocabularul universal și precis care este singurul ce permite transmiterea fidelă a gîndirii.**

Pe de altă parte, nu ne putem permite să cerem cititorului să renunțe la orice efort personal. Fără un asemenea efort, orice discuție este zadarnică din cauza lipsei unui dialog țintind spre adevăr și mergînd în profunzime. Sperăm însă că, dînd un număr mare de exemple și veghind să nu depășim un nivel matematic elementar, l-am ajutat pe cititor să-și reducă efortul la minimum.

Ne-am străduit să respectăm exigențele onestității intelectuale și să nu alunecăm pe panta unei exploatări abuzive sau simpliste a afirmațiilor științei.

Sperăm că efortul nostru comun a contribuit cît de cît la înlăturarea barierelor create artificial între cei ce elaborează, fiecare după specialitatea lui, o cultură care va deveni în curînd patrimoniul întregii comunități umane.

Cultura nu este în fond decît ansamblul bunurilor pe care le schimbăm în mod necesar și fără încetare unii cu alții pentru a realiza cît mai bine și mai liber destinul nostru comun, iar comunicarea oricărei gîndiri presupune existența unui limbaj comun fără de care oamenii nu pot avea între ei decît monoloage lipsite de legătură, pline de inexactități și de erori, și nu dialoguri respectuoase și fructuoase.

Scanned with OKEN Scanner

Acest schimb reciproc se petrece în decursul timpului (adică al istoriei) și tocmai el este acela ce dă în final semnificația umană a noțiunii de timp, care face obiectul prezentei lucrări.

JEAN-LOUIS RIGAL
Profesor la Facultatea de științe din Besançon

ANDRÉ LICHNEROWICZ
Membru al Academiei de Științe, profesor la Collège de France

Relativitatea, mecanica cuantică și teoria informației, cele trei mari discipline care domină fizica modernă de esență fundamental probabilistă, au condus toate trei la restructurarea completă a noțiunii de „timp", atît de intim legată de noțiunea de „viață".

Cea de-a patra dimensiune a spațiu-timpului einsteinian mai are ea vreo legătură cu parametrul t al mecanicii clasice?

Putem oare păstra o anumită simetrie între spațiu și timp, cuantificînd spațiul, dar fără a reuși încă să facem ca și timpul să sufere aceeași soartă?

Există oare cu adevărat o diferență între timpul lucrurilor și timpul oamenilor, așa cum par să indice teoria informației și fizica modernă? Într-adevăr, ele afirmă că dacă viața noastră se desfășoară dinspre trecut spre viitor, aceasta este din cauză că numai acest sens corespunde unei creșteri posibile, proporțională cu durata de timp scursă, a cunoștințelor noastre și deci a posibilităților noastre de acțiune.

Mai avem oare dreptul să vorbim de timp la scara moleculară, atunci cînd mecanica cuantică ne învață că în acest caz nu poate fi vorba „decît" de o noțiune pur statistică?

Cum putem pune de acord între ele indicațiile diferitelor orologii[1] și trece de la timpul cosmic (la care noțiunile de moment inițial și de durată apar ca esențiale) la tim-

[1] Aici, ca și în întreaga lucrare, prin „orologii" se înțelege orice fenomen care poate servi la măsurarea timpului *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

pul ce corespunde scării umane și care este în strînsă legătură cu posibilitățile noastre de a obține sau schimba informații prin anumite canale fizice, așa cum sînt organele noastre senzoriale? Și cum putem trece de la acest din urmă timp la acela al particulelor elementare și al ansamblurilor acestora, de vreme ce aspectul lui statistic apare în acest caz din ce în ce mai esențial?

Modesta noastră lucrare nu are pretenția de a rezolva toate aceste probleme, care sînt printre cele mai delicate pe care și le pune gîndirea fizică contemporană (a se vedea în special lucrările referitoare la „săgeata timpului", pentru care Yang și Lee au obținut recent Premiul Nobel).

Sperăm totuși că am izbutit cel puțin să-l ajutăm pe cititor să abordeze probleme ce se pun astăzi și să întrevadă soluțiile pe care fizica de mîine le va găsi fără îndoială.

Remarcăm, de asemenea, că interacțiunea disciplinelor în acest adevărat nod al gîndirii științifice care este noțiunea de timp a impus colaborarea cu unsprezece autori. Le mulțumim pentru această dificilă muncă de sinteză.

J.-L. RIGAL

Scanned with OKEN Scanner

1
Timpul fizicii clasice

Scanned with OKEN Scanner

A trebuit să treacă o vreme îndelungată pînă cînd oamenii și-au dat seama cît de profund este condiționat de timp și durată comportamentul lor. Posibilitățile noastre de mișcare, de schimbare, de evoluție, de educație prin capacitatea noastră de a gîndi asupra experiențelor din care este constituită în fond viața noastră, depind în mod direct de timpul scurs. De asemenea, timpul hărăzit unui individ sau unei comunități reprezintă măsura exactă a posibilităților lor viitoare, după cum va rezulta din ce în ce mai clar pe măsură ce vom trece de la un capitol la altul. Nu este deci exagerat să spunem că viața și timpul sînt legate în mod indisolubil între ele.

Dacă pentru oameni degajarea simplei noțiuni de timp a fost un lucru atît de anevoios, cu atît mai greu le-a venit să ajungă la noțiunea de timp universal și obiectiv, care se scurge în același fel pentru toate sistemele fizice și este independent de observator. Primul studiu științific al mișcării îl datorăm de fapt lui Galilei, care a murit în 1642 — anul în care se năștea Newton, adevăratul său succesor. Galilei a studiat în particular cele două tipuri de metode despre care vom vorbi în cele ce urmează, încercînd să le racordeze pe baza celebrei sale descoperiri a izocronismului mișcărilor unui pendul.

Nu avem oare impresia că timpul se scurge în mod diferit pentru cel ce stă de vorbă la telefon cu cea mai bună prietenă și pentru cel ce-și așteaptă rîndul în fața ușii de sticlă a unei cabine telefonice? Pentru cel ce vorbește și pentru cel ce ascultă? Pentru chirurgul care face o intervenție delicată și pentru familia ce așteaptă îngrijorată să afle rezultatul? Pentru cei tineri și pentru cei bătrîni? Pentru omul calm și pentru cel nerăbdător? Și totuși, chiar dacă în viața noastră există perioade dense în evenimente și perioade mai calme, nu ne relevă oare studiul lumii înconjurătoare existența unor mișcări regulate și pseudoperiodice asupra cărora omul nu pare să aibă nici o influență, cum sînt în primul rînd mișcările stelelor, dar și ritmul anotimpurilor și al menstruației? *De fapt astronomia a fost aceea ce ne-a dat posibilitatea să degajăm ideea de timp obiectiv și uniform, concept*

Scanned with OKEN Scanner

al cărui triumf a însemnat pînă la urmă triumful mecanicii clasice.

Pentru a măsura timpul și duratele, omul a folosit două metode. Așa cum arată Jean-Louis Kahn în capitolul său, este impresionant să constatăm că modul de abordare a problemelor, încă de la primele lucrări experimentale pe care le-au prilejuit aceste metode, precum și dificultățile întîlnite în cursul lor, prefigurează exact modul de studiu și metodele științei contemporane, dominată de teoriile relativiste, de mecanica cuantică și de teoria informației.

Prima metodă presupune existența unor mișcări nu numai continue, dar și uniforme, astfel că, dacă studiem un mobil— o particulă sau un ansamblu mai complex — avînd o viteză constantă, este suficient să-i cunoaștem poziția pentru a reduce măsurarea duratei la măsurarea distanței parcurse. De îndată însă ce tehnicile de măsură au permis realizarea unor experiențe suficient de stabile și de precise, această idee, pe care o vom întîlni generalizată sub numele de *spațializarea timpului*, s-a izbit de o mare dificultate: diferitele orologii folosite — Pămîntul, Luna, Soarele, stelele etc. — indicau durate diferite pentru același interval de timp. Trebuia să se renunțe deci fie la noțiunea de timp universal, fiindcă fiecare orologiu indica timpul său propriu, fie la ideea existenței mișcărilor uniforme.

Există oare asemenea mișcări? Răspunsul pe care-l dă mecanica clasică acestei întrebări este negativ, fiindcă orice particulă este supusă permanent unor anumite forțe, chiar dacă nu ne-am referi decît la atracția universală. Totuși, această mecanică ne permite să calculăm, folosind o formulă unică, datorată lui Newton, evoluția spațială a oricărui sistem pe baza analizei tuturor forțelor care intervin și a stării inițiale a sistemului. Conform acestei formule, poziția unei particule este în funcție de același parametru t, astfel că va fi suficient să observăm o particulă oarecare pentru ca să deducem timpul pe care ea îl indică ocupînd la un moment dat o poziție anumită pe traiectoria ei. Dacă particula nu-și descrie cu exactitate traiectoria, înseamnă că analiza mișcării ei n-a fost corectă. Triumful acestei concepții

Scanned with OKEN Scanner

a fost vestita afirmație a lui Laplace: „**O inteligență care ar cunoaște, pentru un moment determinat, toate forțele de care este animată natura, precum și situația respectivă a entităților care o compun, — dacă această inteligență ar fi destul de vastă ca să poată supune Analizei aceste date, ea ar fi capabilă să înlănțuiască în una și aceeași formulă atît mișcările corpurilor celor mai mari din univers, cît și pe acelea ale celor mai ușori atomi. Pentru o asemenea inteligență n-ar exista nimic nesigur, iar viitorul, ca și trecutul, ar fi prezente înaintea ochilor ei**".

Nu e greu de înțeles că acest mod de determinare a traiectoriei, și deci a momentelor de trecere prin anumite puncte, se lovește de obstacole foarte mari, atît din cauza complexității calculelor (chiar mișcarea a patru sau cinci particule supuse numai atracției newtoniene reprezintă o problemă care depășește posibilitățile mijloacelor noastre actuale de calcul), cît și din cauza obligației impuse observatorului de a cunoaște, *cu o precizie infinită*, un număr infinit de parametri. Fizica modernă a insistat de altminteri pe larg și pe bună dreptate asupra acestei din urmă imposibilități, pe care a lămurit-o teoria informației.

Se pare că în situația actuală ni se oferă două soluții:

● Pe de o parte, mecanica statistică se străduiește să analizeze comportamentul cel mai probabil (care este în același timp și comportamentul mediu) al unui ansamblu de particule. De îndată ce numărul obiectelor în mișcare este suficient de mare, analiza (imposibilă, din cauza dificultăților de calcul, în cazul ansamblurilor cu efective reduse) devine din nou posibilă datorită aplicării legii numerelor mari. Prețul pe care trebuie să-l plătim în acest scop este deformarea noțiunii de timp, care *devine astfel de natură statistică*. Vom examina mai departe două exemple ale acestui mod de gîndire.

● Cunoaștem, pe de altă parte, corpuri suficient de izolate pentru ca inventarierea forțelor ce acționează asupra lor să apară ca relativ simplă. Capitolul lui Jean Delhaye va expune în amănunt analiza acestui tip de mișcări, arătînd în ce măsură reușim să aproximăm din

Scanned with OKEN Scanner

ce în ce mai exact timpul mecanicii cerești, precum și dificultățile de care se izbește în mod necesar orice calcul al traiectoriei, în special din cauză că *nu există semnale care să se transmită cu o viteză infinită*. Desigur că concordanța aproape perfectă dintre timpii măsurați cu ajutorul diferitelor orologii cerești luate în considerare, ca și frumusețea analizei care ne-a permis să elaborăm o sinteză atît de vastă pe baza unei simple formule, ne stîrnesc admirația. Pe de altă parte însă, reflecțiile critice asupra acestui prim tip de metode pentru măsurarea timpului duceau la principalele probleme de care urma să se ocupe fizica modernă și pe care ea avea să le rezolve cu prețul unei schimbări radicale a punctului de vedere, întîmpinînd, de altfel, cu acest prilej, noi dificultăți metodologice.

Cea de-a doua metodă tradițională procedează prin numărarea fenomenelor periodice sau presupuse ca atare. Duratele ce pot fi măsurate pe această cale sînt în mod necesar multiplii unei cantități elementare corespunzătoare unei pulsații. Lucrul acesta creează o primă dificultate proprie oricărei experiențe în care intervine o cuantificare și, de altfel, după cum știm acum, o asemenea cuantificare are loc în toate experiențele și în toate măsurătorile. Această primă dificultate constă în faptul că în studiul fenomenelor fizice cu aspect tipic continuu s-au putut introduce structuri granulare cuantificate ale spațiului, dar nu și ale timpului, ceea ce interzice o analogie desăvîrșită între spațiu și timp. Teoreticienilor li se pune astfel o problemă delicată asupra căreia vom reveni în timp util.

Cea de-a doua dificultate, nu mai puțin esențială, este următoarea: *există oare într-adevăr fenomene riguros periodice sau, dimpotrivă, a miza pe ele este tot atît de lipsit de sens ca și în cazul mișcărilor uniforme?* Este adevărat că teorema condițiilor inițiale dovedește că dacă un sistem, ca și restul universului, poate să se reproducă identic cu sine însuși, evoluția lui va fi strict periodică. Din nefericire, o reproducere atît de absolută este contrară celui de-al doilea principiu al termodinamicii.

Scanned with OKEN Scanner

Ceva mai mult, dacă ar exista cu adevărat o asemenea posibilitate, atunci, datorită faptului că universul s-ar regăsi mereu în stări identice, nu s-ar mai putea păstra nici o informație asupra numărului de perioade trecute, ceea ce ar face ca orice numărătoare, și deci orice măsurătoare, să fie imposibilă. Rezultă că noțiunea de mișcare periodică nu poate fi decît un concept-limită: toate sforțările constructorilor de orologii s-au îndreptat tocmai spre construirea de mecanisme care se reproduc cît mai fidel posibil. S-a dovedit într-adevăr că duratele definite de către multe mecanisme concordă cu atît mai bine între ele cu cît ne apropiem mai mult de condițiile ideale. *Între orologii n-a putut fi constatată nici o diferență care să nu poată fi atribuită inexactității instrumentului*, **ceea ce i-a făcut pe oamenii de știință să ridice această constatare experimentală la rangul de principiu, adică la principiul existenței unui timp universal, care poate fi măsurat cu ajutorul uneia sau alteia din cele două metode menționate.**

Ne mai rămîne încă să racordăm cele două metode (lucru care nu poate fi făcut decît *recurgînd la mecanică, adică la știința în care toate mișcările sînt guvernate de o lege unică*) și să analizăm dificultățile pe care le provoacă necesitatea de a transporta măsura timpului de la un punct la altul sau de la un sistem la altul. Cu acest prilej apar din nou dificultățile datorate inexistenței unor semnale infinit de rapide.

Jean-Louis Kahn ne va reaminti primele bîjbîieli stîngace ale omului în căutarea unei definiții și a unei măsuri a timpului. Este interesant de remarcat că dificultățile proprii celor două metode s-au prezentat încă din acest stadiu și că în spatele problemelor cu aspect pur tehnic se profilau adevăratele dificultăți, cele de ordin metodologic.

Vor urma apoi două capitole care se completează unul pe altul și care vor fi consacrate mecanicii clasice, prima teorie unitară a universului și timpului newtonian pe care ea îl definește. Se va arăta în continuare că orologiile numite moleculare sau atomice conduc, dimpotrivă, la un timp cuantificat și că și în acest caz dificultatea de

Scanned with OKEN Scanner

ordin tehnic ce se prezintă (imprecizia datorată îmbătrînirii orologiilor) este de fapt de natură metodologică.

Măsura timpului nu servește la nimic dacă ea nu poate fi transmisă. Aceasta este problema căreia i se consacră Bernard Decaux: absența semnalelor cu viteza infinită conduce la o dificultate de nebiruit ca și cele despre care s-a vorbit mai înainte.

Capitolul privitor la vîrsta corpurilor cerești ar putea să pară că nu are nici o legătură cu tema noastră. El conduce totuși la o analiză de tip statistic care ilustrează mijloacele pe care ne-am bazat ori de cîte ori a fost vorba de a examina sisteme prea complexe pentru a putea fi supuse unui altfel de studiu decît cel global. (Problema determinării stării inițiale de la care ar trebui calculate vîrstele ridică dificultăți redutabile de ordin cosmologic, care nu pot fi tratate în lucrarea de față.)

Cititorii vor vedea, în continuare, cum apare necesitatea de a se face apel la ipoteze fizice și la raționamente de natură statistică. Acestea ne oferă o certitudine și o posibilitate de verificare a concluziilor respective (fundamental diferite de cele ce decurg din cercetările făcute pe baza mecanicii clasice), conducîndu-ne la raționamente foarte apropiate de acelea ale fizicii moderne a ansamblurilor de particule.

Din acest punct de vedere este simptomatic faptul că astăzi definiția secundei pe baza emisiunii de radiații a unui ansamblu omogen de particule a luat locul vechii definiții elaborate de astronomi de-a lungul unui timp îndelungat prin măsurarea mișcărilor aparente ale planetelor și ale stelelor.

Scanned with OKEN Scanner

Sursele măsurării timpului

J.- L. KAHN

Inginer-cercetător

Necesitatea măsurării intervalelor de timp nu se impunea aproape deloc strămoșilor noștri, care foloseau mai mult sabia și plugul decît ceasornicele. Pentru ei, timpul și distanța se contopeau într-un tot unic: acțiunea. Cartea întîi a Bibliei — ca și Homer și Hesiod de altfel — nu distingea din zi decît două părți: dimineața și seara. Perșii împărțeau ziua în cinci părți: zorii zilei (pînă la răsăritul Soarelui), timpul sacrificiului (de la răsăritul Soarelui pînă la amiază), timpul cu lumină deplină (de la amiază pînă la apusul Soarelui), timpul răsăritului aștrilor (de la apusul Soarelui pînă la apariția stelelor) și timpul destinat rugăciunilor, care se întindea pînă la miezul nopții. Romanii din timpul lui Varro nu distingeau încă decît șapte perioade; necesitățile războinice îi făcuseră să împartă noaptea în patru „gărzi", stabilite după mersul aștrilor (la care se adăugau cele trei părți ale zilei).

Primele secrete ale timpului au fost smulse cerului de către preoții babilonieni și egipteni. În tainițele templelor egiptene se studia mersul stelelor, precum și căile urmate de zeii Soarelui și Lunii; cadrane solare și clepsidre serveau la determinarea datelor cultului. Toate aces-

tea ţineau însă de religie şi erau rezervate exclusiv celor iniţiaţi. Nu era nevoie de altminteri decît de cîteva instrumente; printre vestigiile a trei mii de ani de istorie n-au fost găsite decît vreo cincizeci de clepsidre şi de cadrane solare. De altfel, pentru stabilirea orei la care trebuia luată masa era suficientă umbra corpului omenesc.

Asirienii şi babilonienii erau convinşi că există o legătură între soarta oamenilor şi poziţia aştrilor, iar necesitatea de a determina cu mare precizie această poziţie, precum şi aceea de a măsura timpul, a contribuit în mare măsură la naşterea unui determinism ştiinţific. Strabon ne informează că „există în Babilonia o castă de filozofi — caldeenii care se ocupă în special de astronomie; unii din ei se îndeletnicesc şi cu întocmirea horoscoapelor, fără să se bucure însă de aprobarea majorităţii".

Mergînd mai departe, dincolo de an, lună şi zi, caldeenii au ajuns la noţiunea aproape abstractă a intervalului de timp. Datorită sistemului sexagesimal folosit în Mesopotamia, zilele erau împărţite în duble-ore. La rîndul ei, dubla-oră era împărţită în 60 de duble-minute, iar dubla-minută în 60 de duble-secunde.

Preoţii egipteni socoteau că ziua şi noaptea au fiecare cîte 12 ore. Ei n-au putut pătrunde însă mai adînc în ştiinţa timpului, fiindcă aritmetica lor era rudimentară. Riscurile de erori erau mărite de procedeele de scris foarte complexe; de altminteri egiptenii nu ştiau să înmulţească şi să împartă decît prin doi. Noţiunile de progresie aritmetică şi geometrică erau încă confuze. Ceva mai mult, aritmetica egipteană avea un caracter concret, aproape calitativ: depindea de obiectele la care era aplicată şi era lipsită de mijloace de abstracţie.

În secolul al III-lea î.e.n., medicii din Alexandria au învăţat să măsoare pulsul — ritmul corpului — folosind clepsidra. În felul acesta, omul a început să măsoare durate de ordinul secundei, iar măsura aceasta îşi avea sursa în simpla numărătoare a perioadelor unui fenomen discontinuu.

Pînă în secolul al X-lea e.n., preoţii şi călugării creştini s-au preocupat mai mult de eternitate decît de timp.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a cunoaște timpul, aveau la dispoziție simple orologii solare sau hidraulice, iar pentru a-și orîndui ritmul vieții le erau de cele mai multe ori îndeajuns recitarea psalmilor și timpul în care se consumau candelele.

Începînd din secolul al X-lea însă, occidentul creștin a reintrat în curentul științei antice. Încetul cu încetul, orologiul mecanic a fost perfecționat pînă cînd s-a ajuns la inventarea orologiului cu pendul, primul instrument cu adevărat științific de numărare a duratelor.

În evul mediu se construiau orologii cu balansier orizontal, ale cărui bătăi numărau duratele. Bătăile erau comandate însă de mecanisme complexe a căror funcționare nu era bine cunoscută din punct de vedere științific.

Galilei (1564—1642) a fost primul care a descoperit că două pendule constituite unul dintr-o bilă de plumb și altul dintr-o bilă de plută au aceeași perioadă și că intervalul dintre bătăi este independent de amplitudine, cel puțin în cazul cînd aceasta e mică.

Continuatorii lui Galilei (dintre care cel ce are dreptul la o mențiune specială este Huyghens) au știut să folosească legile pendulului ca să construiască orologii. Perfecționările complexe de care s-au bucurat aceste orologii nu aduc de altminteri nici o atingere rigorii legilor fundamentale. Datorită faptului că, dacă locul nu se schimbă, intensitatea accelerației gravitației rămîne constantă, rezultă că pendulul liber nu execută decît oscilații de durată egală, atîta vreme cît acestea au aceeași amplitudine. De asemenea, atunci cînd — pentru a i se menține energia — se transmite pendulului o forță ce rămîne mereu aceeași, el execută oscilații de amplitudine egală și deci avînd aceeași durată.

Încă de la primele aplicații ale pendulului la orologii, aceste aparate au început să funcționeze cu o exactitate suficient de mare ca să permită măsurarea unor durate egale între ele și ca să poată servi astfel la observațiile astronomice.

De la Huyghens încoace, orologiile mecanice au fost necontenit perfecționate. În plus, după cum se va arăta mai departe, știința a condus la inventarea unor orolo-

Scanned with OKEN Scanner

gii din ce în ce mai exacte: orologiul cu cuarț, orologiile moleculare și orologiile atomice.

Se poate trage concluzia că eforturile omului de a discerne cantitativ noțiunea de timp pot fi raportate la două categorii de metode, cu totul deosebite între ele, și anume: fie la variația continuă, considerată uniformă, a unui fenomen (ca de exemplu mișcarea unui astru sau rotația Pămîntului), fie la numărarea bătăilor unui orologiu cu pendulul sau a perioadelor, socotite exacte, ale inimii omenești ori ale unui cristal de cuarț.

Bineînțeles că aceste două categorii de metode, care conduc la tehnici de măsură diferite și la concepte diferite, nu sînt complet independente. **În caz contrar, ar dispărea însăși noțiunea de timp.** Este necesar deci să precizăm mai bine și să abordăm delicatele probleme pe care le pune racordarea lor.

Timpul măsurat prin mișcări cu viteză considerată constantă

Măsurătorile astronomice făcute de antici erau presupuse lineare și uniforme în sensul cinematicii moderne, ceea ce înseamnă că postulau implicit că aștrii se deplasează cu viteză constantă. Aceeași presupunere se aplica și instrumentelor de măsură de felul clepsidrelor, în care se realiza o scurgere continuă, considerată uniformă, adică cu viteză constantă. *Această presupunere era însă falsă*, după cum vom arăta mai departe. Într-adevăr, experiența lui Michelson, despre care vorbesc în această carte alți autori, n-a fost decît rezultatul acestei căutări desperate a mișcării cu viteză constantă.

Aparatul cel mai rudimentar construit pentru măsurarea deplasării umbrei Soarelui a fost *gnomonul*, un simplu stîlp de piatră înfipt vertical în pămînt.

Polosul, un instrument mai perfecționat, era constituit dintr-o emisferă goală și cu diametru mare, a cărei concavitate era îndreptată spre cer. În centru era amplasată o mică bilă care intercepta lumina solară și a cărei umbră se proiecta pe suprafața internă a emisferei.

Scanned with OKEN Scanner

Mișcarea Soarelui se desena astfel cu precizie pe această suprafață. Conceperea unui asemenea instrument nu pretindea nici o cunoștință matematică, ci impunea doar ca constructorul lui să aibă o idee clară despre mișcarea Soarelui. Umbra bilei se rotea cu o mișcare uniformă. De aceea, cavitatea putea fi gradată o dată pentru totdeauna, iar gradația era valabilă pentru orice anotimp. Polosul avea două calități de care gnomonul era lipsit: uniformitatea mișcării observate și semnificația absolută a gradației. Modelul care a fost adoptat în cele din urmă era prevăzut cu o tijă fixă orientată spre pol. Umbra varia în cursul anului în funcție de anotimp, astfel încît se putea marca pe instrument gradația definitivă. În felul acesta, polosul, această imagine a boltei cerești, a constituit forma cea mai simplă a cadranului solar.

În anul 212 î.e.n., cînd romanii au cucerit Sicilia, Arhimede și-a aflat sfîrșitul la Siracuza. Catania a căzut și ea, ca și Siracuza, iar generalul roman Valerius Messala a pus stăpînire pe orologiul orașului, care a fost instalat, după ordinul lui, la Roma. Le-a trebuit însă romanilor 99 de ani ca să-și dea seama că în raport cu steaua polară orologiul nu era construit pentru orașul lor, ci pentru poziția geografică a Cataniei. În felul acesta s-a pus pentru prima dată problema unui transfer al măsurării timpului.

La fel cu babilonienii, egiptenii făceau și ei măsurători astronomice. În Egipt, metoda de măsurare cea mai precisă folosea ca instrument *merkhetul*, o tulpină de palmier prevăzută cu o fantă la capătul mai gros. Observatorul și ajutorul său se așezau față-n față pe o linie orientată nord-sud. Primul putea să vadă deasupra capului celui de-al doilea steaua polară. Observatorul își apropia un ochi de fanta merkhetului și-l închidea pe celălalt, vizînd un fir cu plumb atîrnat de o riglă ținută de ajutorul său în așa fel încît linia firului să vină în prelungirea unei linii trasate pe lemnul riglei. Orele erau determinate atunci cînd anumite stele întretăiau prelungirea liniei verticale.

Firește că aceste măsurători erau foarte incerte. Instrumentele, construite fără nici o regulă precisă, nu erau

Scanned with OKEN Scanner

comparabile între ele, iar statura diferită a observatorilor și schimbarea poziției lor reciproce modificau în mare măsură toate rezultatele.

În loc să se folosească de aștri, ale căror mișcări erau socotite a fi constante și fidele, oamenii timpului s-au gîndit să construiască și instrumente bazate pe fenomene terestre, regulate și continue, mai ușor de reprodus dar avînd, firește, o durată limitată. *Clepsidra* — un recipient cilindric și gradat, în care apa se scurgea dintr-un rezervor — era folosită de babilonieni, egipteni și greci. Este instrumentul tipic care ilustrează limpede atît reușitele cît și dificultățile tehnicilor de acest tip. În timp ce în astronomie se studiau variațiile, presupuse lineare, ale poziției aștrilor, cu ajutorul clepsidrei se încerca să se producă o variație liniară a maselor în funcție de timp.

Clepsidrele descoperite în Egipt sînt de formă tronconică, ceea ce înseamnă că egiptenii încercaseră să compenseze scăderea debitului produsă de scăderea regulată a presiunii. Compensația realizată pe această cale nu era însă destul de exactă pentru ca descreșterea nivelului apei să fie regulată. Or, dispoziția reperelor marcate pe clepsidrele găsite corespundea tocmai unei asemenea regularități imposibile, de unde rezultă că măsurătorile făcute de egipteni pe această cale erau eronate. În toate exemplele pe care le-am citat, *problema care s-a pus a fost aceea a stabilirii unui raport între divizarea unor intervale spațiale și divizarea unor intervale temporale*: se constată însă că deși intervalele de spațiu erau egale între ele, totuși intervalele de timp care ar fi trebuit să le corespundă nu mai erau egale.

În cadrul intervalelor mari de timp, determinate prin măsurătorile astronomice, clepsidrele serveau la „conservarea“ timpului, adică la numărarea unor perioade de timp mai scurte. Pe de altă parte însă, clepsidrele serveau și la măsurătorile astronomice, fiindcă dădeau posibilitatea să se determine durata scursă între două observații făcute cu merkhetul. Clepsidra a constituit în felul acesta forma primară a instrumentelor de măsurare a timpului, reprezentată astăzi de orologiile noastre moderne.

Scanned with OKEN Scanner

Subliniem în concluzie următoarea idee: *pornind de la presupunerea că viteza constantă există, astronomii și fizicienii au încercat să bazeze măsurarea timpului pe variația continuă a fenomenelor.* **În univers nu există însă viteză constantă**[1]. Mișcarea cu viteză constantă ar presupune existența unui univers lipsit de forțe, deci vid. Ne-am putea gîndi cel mult să folosim mișcarea proprie a stelelor. Dar constanța acestei mișcări nu este decît aproximativă; în afară de aceasta, scările de timp corespunzătoare ar fi prea mari pentru a putea fi utilizate în practică.

Măsurarea timpului cu ajutorul fenomenelor presupuse periodice

În cele de mai sus am pus — fără să o fi exprimat formal — problema dublului aspect, continuu și discontinuu, al măsurării timpului. Reprezentarea unei mișcări continue presupune reperarea unor poziții limitate ca număr și extrapolări făcute pe baza acestor măsurători. Cel de-al doilea mod de cunoaștere științifică a timpului constă din numărarea unor evenimente care se produc unele după altele în condiții aparent identice: între două asemenea evenimente E_1 și E_2 se scurge, prin definiție, o perioadă. Dacă însemnăm cu E_1, E_2 și E_3 trei asemenea evenimente, atunci durata $(E_1\ E_3)$ este egală cu suma duratelor $(E_1\ E_2) + (E_2\ E_3)$.

Acest mod de cunoaștere nu ne oferă însă prin el însuși nici un mijloc care să ne permită să determinăm un moment cuprins între E_1 și E_2 sau între E_2 și E_3. Rămînem deci, în principiu, tot în domeniul discontinuității.

În practică, numărările sînt făcute în general cu ajutorul unor aparate construite de ingineri, a căror funcțio-

[1] Aici este vorba despre viteza mișcării corpurilor, nu despre viteza de transmisie a semnalelor luminoase și radio, care în spațiul vid este riguros constantă. La limită, în cazul unor energii foarte mari (relativiste) viteza particulelor materiale tinde spre aceeași valoare constantă *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

nare continuă fizicianul (făcînd abstracție de preocuparea de a număra) o poate descrie, **cel puțin în cadrul unei viziuni macroscopice.** În realitate, cronometrorul trebuie să determine momentul în care mișcarea balansierului își schimbă sensul, iar precizia acestei determinări va rămîne permanent o problemă deschisă. În ceea ce-i privește pe astronomii antici, deși ei aveau de numărat perioade relativ lungi de timp, erau totuși obligați să determine într-un mod destul de precis momentele în care începeau aceste perioade.

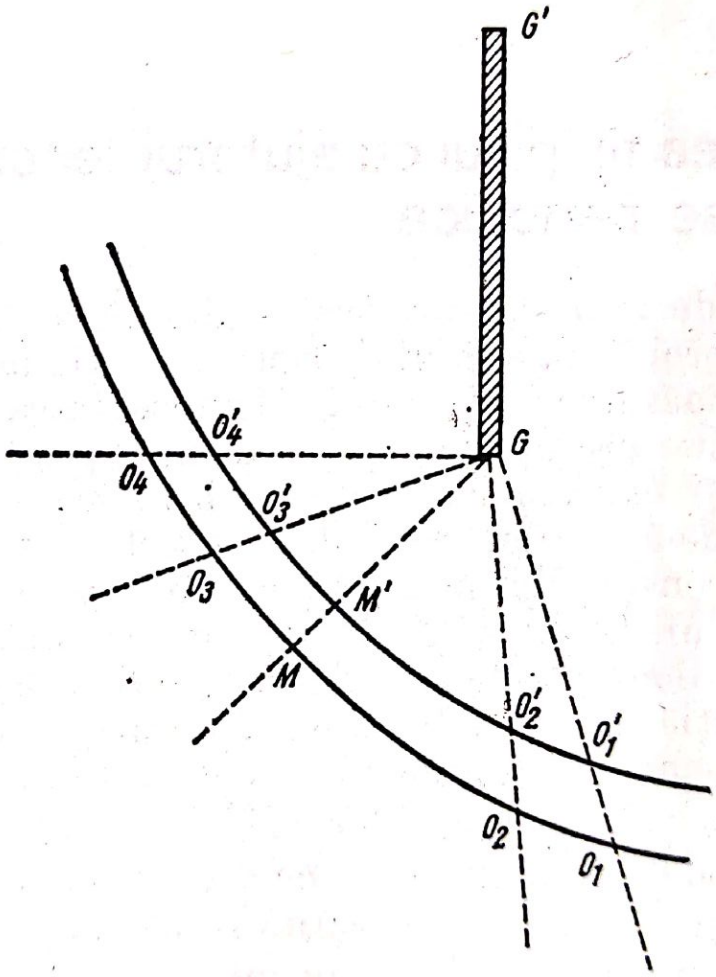


Fig. 1.

Să urmărim în decursul unei zile umbra unui gnomon GG' și să marcăm din timp în timp extremitățile umbrei (O_1, O_2 etc.) (fig. 1). Umbra se deplasează executînd o mișcare opusă aceleia a Soarelui, adică de la vest la est. Lungă la început, atunci cînd răsare Soarele, ea scade pe măsură ce Soarele se ridică pe cer, pentru ca apoi să

Scanned with OKEN Scanner

se lungească începetul cu începetul pînă la apusul astrului. Se observă că curba care leagă punctele O_1, O_2, O_3 și O_4 este simetrică față de linia GM a umbrei celei mai scurte, care corespunde amiezii. Să repetăm aceeași observație după cîteva zile. Vom obține o nouă curbă O'_1, O'_2, O'_3 și O'_4 și vom constata că noua umbră de lungime minimă GM' are aceeași direcție ca și GM. Această direcție se numește astăzi *meridiană*. Pe dalele de piatră din jurul gnomonului se săpau cu dalta cercuri și gradații. Umbra cea mai scurtă din decursul anului indica solstițiul de vară, iar umbra cea mai lungă solstițiul de iarnă. În felul acesta, gnomonul dădea posibilitatea de a se determina durata unui an și deci de a se lega măsurarea continuă a duratei cu numărarea anilor succesivi. Momentele în care se făcea numărarea erau destul de bine precizate.

Încă de la începuturile cunoașterii, oamenii au distins trei mari tipuri de periodicități. Mai întîi anul, definit prin fenomene meteorologice, ca de exemplu căldura și frigul, precum și prin evenimentele ce aveau legătură cu agricultura. Apoi ziua, definită prin alternanța zilelor și a nopților sau, mai precis, prin răsăritul și apusul Soarelui. Și, în sfîrșit, fenomenele mai puțin vitale, cum erau schimbările de aspect ale Lunii, care au condus la adoptarea lunii „lunare".

Aceste trei tipuri de periodicități s-au dovedit însă a nu avea o unitate de măsură comună, fapt care a avut drept consecință complicații practice aproape de nerezolvat, fiindcă nici anii, nici lunațiile nu cuprind un număr întreg de zile.

Babilonienii și-au dat seama de dificultatea acordării anului solar cu anul lunar. Într-un an solar sînt aproximativ 12 lunații. Însă „aproximativ" nu înseamnă un număr întreg. Faptul acesta a justificat adoptarea conceptului util de an lunar de 12 luni. S-a văzut însă că după trecerea mai multor ani, măsura timpului nu mai corespundea măsurii reale, a cărei necesitate era impusă de nevoile agriculturii. 12 luni lunare medii cuprind 354 de zile, adică cu 11 zile și un sfert mai puțin decît anul solar, astfel că după trecerea a trei ani decalajul dintre anul solar și cel lunar depășește o lună. Babilonienii

Scanned with OKEN Scanner

au ocolit această dificultate adăugînd anului, în mod periodic, o a treisprezecea lună. Cînd se constata că stelele nu mai răsăreau în luna obișnuită, se hotăra introducerea unei luni suplimentare.

Babilonienii au remediat astfel prin mijloace empirice decalajul dintre cele două feluri de măsurători. Calendarul lunar mai implica însă și o altă dificultate care rezulta din determinarea lunii lunare. Luna babiloniană începea în seara ce urma după Luna nouă în care Cornul Lunii era vizibil pentru prima dată la puțin timp după răsăritul Soarelui. Cornul Lunii apare însă cînd a doua zi, cînd a treia zi după Luna nouă. Astronomia modernă explică astfel factorul de vizibilitate al Cornului Lunii: pentru ca să poată fi văzut de pe Pămînt, trebuie ca direcția pe care se află Luna să nu treacă prin imediata vecinătate a Soarelui. Cornul Lunii nu este deci vizibil decît începînd de la o anumită valoare critică a distanței unghiulare dintre Lună și Soare. Există tabele care ne dau posibilitatea să cunoaștem în fiecare lună momentul cînd această valoare critică este atinsă. Babilonienii au reușit pe vremea lor să facă un studiu aprofundat al acestor fenomene și să întocmească tabele cu datele aflate.

În Egipt, practicarea agriculturii depindea de revărsările Nilului, care provocau inundarea pămînturilor. De aceea, pentru egipteni anul era reprezentat de intervalul de timp dintre o revărsare a Nilului și cea următoare. Or, revărsările — care depind de ploile musonice căzute pe platoul abisinian — constituie un fenomen sezonier ce se repetă în medie la fiecare 365 de zile, dar cu fluctuații de cîteva zile sau chiar de cîteva săptămîni.

Din motive legate de cultul religios, egiptenii au avut însă nevoie de o măsură mai precisă a timpului și astfel, studiind mersul stelei Sothis (Sirius), preoții au descoperit anul sideral. Această descoperire a fost de altminteri înlesnită de o anumită împrejurare: zi de zi, Sothis răsare și apune din ce în ce mai devreme, astfel că în decursul unei perioade îndelungate de timp el rămîne invizibil, fiindcă se află deasupra orizontului ziua și nu noaptea. Din întîmplare, cam la 1456 de ani agrari, revărsarea Nilului începea aproape în momentul în care

Scanned with OKEN Scanner

steaua, după ce rămăsese multă vreme invizibilă, se vedea pentru prima dată din nou în zori, puțin înainte de răsăritul Soarelui. Coincidența aceasta se repeta aproape în aceleași condiții în mai mulți ani agrari. Probabil că astronomii egipteni au descoperit fenomenul în cursul unei asemenea perioade de coincidență, care a avut loc în anii 4 229, 1 312 și 139 î.e.n. Anul descoperirii a fost, desigur, unul din primii doi ani menționați. Faptul că ciclul lui Sothis coincidea aproximativ cu acela al Nilului i-a condus pe egipteni la noțiunea de an sideral, astfel că anul a fost definit prin perioada lui Sothis și nu prin aceea a revărsării Nilului. Încetul cu încetul s-a produs însă un decalaj care a făcut ca începutul anului astfel calculat să coincidă cu mijlocul anului sideral.

Fiecărui fenomen periodic îi corespunde deci o anumită perioadă, iar perioadele astfel definite nu au în general o unitate de măsură comună. În afară de complicațiile de acest fel, exemplele date oferă posibilitatea de a se scoate în evidență trei dificultăți întîlnite întotdeauna cînd se folosește metoda numărării: a) perioadele numărate după orologii diferite nu se potrivesc între ele; b) începutul fiecărei perioade este greu de definit; și, în afară de toate acestea, c) nici o mișcare nu este absolut periodică, fiindcă condițiile inițiale nu sînt niciodată identice, chiar dacă acest lucru nu s-ar datora decît aplicării celui de-al doilea principiu al termodinamicii sau oricărui alt principiu analog.

De fapt n-a putut fi constatat — între orologiile reale — nici un dezacord care să nu poată fi imputat erorilor experimentale (cu excepția dezacordului datorat efectelor relativiste, care sînt și ele în funcție de mișcarea orologiilor). Apariția unor mici abateri între orologii nu contrazice deci postulatul existenței timpului absolut într-o măsură mai mare decît îl contraziceau observațiile făcute în legătură cu clepsidrele. Desigur că filozofii pot pune în discuție acest postulat. Fizicienii însă n-au nici un motiv să-l recuze, fiindcă singura lor grijă este să construiască cronometre din ce în ce mai fidele și să studieze mersul cronometrelor reale pentru ca să le poată compara între ele.

Cea de-a doua dificultate privitoare la determinarea începutului perioadelor nu este nici ea mai decisivă,

Scanned with OKEN Scanner

fiindcă incertitudinea (care nu se referă în general decît la o fracțiune de perioadă) poate fi redusă la o valoare relativ neglijabilă cu condiția ca observația să aibă o durată suficient de mare, condiție care este realizată într-un mod deosebit de exact de către orologiile cu cuarț sau cu amoniac... sau chiar de către ceasurile noastre de mînă.

Cea de-a treia dificultate este mai profundă, ba chiar fundamentală. De aceea nu trebuie să ne surprindă dacă dăm și în acest caz peste același fapt evident: *nici un instrument nu este fidel la infinit* și nu există perioade constante, după cum nu există mișcare uniformă.

Motivul este unul și același. **Conform legilor mecanicii, mișcarea uniformă presupune existența spațiului vid, după cum, pe baza legilor termodinamicii, perioada constantă presupune și ea existența aceluiași spațiu vid.**

Reproducerea fenomenelor nu poate fi considerată ca absolută decît dacă stările inițiale ale tuturor perioadelor sînt aceleași. Lucrul acesta este însă contrar celui de-al doilea principiu al termodinamicii: universul nu poate trece de două ori în șir prin aceeași stare, fiindcă entropia[1] variază neîncetat în același sens. Pe de altă parte, dacă stările inițiale ar fi identice, n-am avea nici un mijloc să distingem o stare de alta, astfel că n-am putea afirma măcar că rezultatul numărătorii este diferit. N-am avea nici o posibilitate să știm cît timp s-a scurs și dacă acul orologiului a înaintat. Însă dacă acul a înaintat sau dacă printr-un procedeu oarecare am păstrat o urmă a acestei îmbătrîniri, atunci stările n-au mai fost identice.

Compararea celor două tipuri de măsurători

Am văzut care sînt limitele inevitabile de care se lovesc cele două metrologii ale timpului: imposibilitatea mișcărilor cu viteză constantă și a mișcărilor periodice perfecte într-un univers care nu este vid; prezența erorilor care

[1] Cu privire la entropie a se vedea *Anexa*, p. 200.

Scanned with OKEN Scanner

îngreuiază comparația a două orologii, deși divergența dintre ele nu poate fi imputată niciodată altei cauze decît erorilor experimentale; lipsa de fidelitate a oricărui instrument.

Ne mai rămîne să examinăm și mai profund **problema racordării celor două tipuri de măsurători,** *fiindcă —așa cum am mai spus-o — fără o asemenea racordare noțiunea de timp ar dispărea.*

Această unitate se realizează cît se poate de simplu atît în mecanica clasică, ca și în mecanica relativistă. În cadrul mecanicii clasice — indiferent dacă este vorba de orologii cu viteză constantă sau de orologii periodice — se presupune că în ambele cazuri se aplică aceleași legi ale mecanicii, iar corespondența dintre spațiul parcurs și timp, sau între numărare și durată, este asigurată de ecuațiile diferențiale. În ecuațiile deterministe ale mișcării figurează același parametru care este observat și ale cărui variații sînt măsurate.

Atunci cînd avem de-a face cu orologii rapide sau dacă ținem seama cu precizie de vitezele în joc, introducem noțiunea de timp relativistă. Acest lucru nu schimbă însă întru nimic cele arătate: legile pot fi exprimate întotdeauna *prin ecuații diferențiale ai căror parametri corespund variațiilor observabile.*

În partea următoare a acestei lucrări, noțiunea de timp va deveni însă din ce în ce mai subtilă: ecuațiile mecanicii cuantice vor fi *ecuații cu derivate parțiale;* se va impune în mod necesar cuantificarea; *variabilele nu vor mai fi direct observabile;* în special, noțiunea de timp legată de determinismul absolut va fi urmată de noțiunea probabilistă; noțiunea de timp va fi legată de un ansamblu de particule și nu de una singură.

Înainte însă de a ne îndepărta de conceptele familiare, este bine să revenim la mecanica clasică și la timpul definit de ea.

Scanned with OKEN Scanner

Bibliografie

G. Bigourdan — *L'Astronomie*, Flammarion, 1911.

H. Pohl — *L'Homme à la poursuite du Temps*, Plon, 1957.

Y. Vercoutter
L. Labat — — in *La Science Antique et Médiévale*, Presses Universitaires de France, 1957.

M. Rutten — *La Science des Chaldéens*, Presses Universitaires de France, 1960.

Scanned with OKEN Scanner

Timpul mecanicii clasice

P. GERMAIN
Profesor la Facultatea de
ştiinţe din Paris

Nu este posibil un studiu temeinic al diferitelor concepţii ştiinţifice privitoare la noţiunea de „timp" fără a ne referi mereu la „timpul" definit de legile mecanicii clasice. Dacă mai este necesară vreo dovadă suplimentară în acest sens, ea va fi adusă de lectura capitolelor care urmează. Nu există rezultate care să ni se pară atît de cunoscute şi — am putea spune — atît de clare ca acelea la care a ajuns această veche disciplină, respectată pe de o parte ca mamă a celor mai moderne teorii ale fizicii matematice, şi pe de altă parte disprețuită ca fiind complet demodată. Şi totuşi experienţa ne arată că nu înţelegem întotdeauna chiar atît de bine ceea ce eu aş numi statutul mecanicii clasice. Metodele propuse pentru enunţarea şi explicarea bazelor mecanicii capătă forme variate şi, în orice caz, au evoluat în mare măsură de la epoca „marilor precursori" încoace. Prezentul studiu are drept scop să-l ajute pe cititorul care doreşte să facă acest lucru să-şi dea seama ce anume afirmă şi implică mecanica clasică, pentru a înţelege astfel mai bine cum concepe ea de fapt timpul pe care-l postulează şi pe care ne dă putinţa să-l măsurăm. Lucrul acesta ne va conduce

Scanned with OKEN Scanner

să studiem bazele acestei discipline; acest studiu trebuie să fie suficient de aprofundat, pentru ca noțiunea subiacentă de timp pe care ea o postulează să se degaje în mod clar. Poate că parcurgerea căilor binecunoscute ale universului mecanicii clasice este mai puțin pasionantă decît explorarea fertilelor peisaje ale lumii fizicii moderne. Totuși, prilejul de a face din nou o asemenea incursiune se poate dovedi instructiv.

Este necesar ca de la început să situăm lumea mecanicii clasice în continuarea lumii geometriei euclidiene, fiindcă din punct de vedere conceptual și istoric acesta este adevărul. Procesul de formare a unei discipline matematice, sau mai degrabă fizico-matematice, este întotdeauna același: meditînd asupra unor anumite aspecte ale lumii fizice în care trăim, încercăm să ne imaginăm o schemă clară care să ne permită să construim „o lume idealizată", ușor de studiat prin tehnici matematice și pe care s-o putem compara (după ce vom distinge diversele ei aspecte) cu modelul complex pe care ni-l prezintă experiența. Prima lume schematică astfel construită este aceea a geometriei clasice, adică lumea matematică a formelor și a întinderii. „Miracolul grec" constă tocmai în definirea acestei lumi idealizate: putem spune de aceea că grecii au reușit să „raționalizeze" formele și întinderea.

Desigur că lumea geometriei este o lume extrem de săracă. Creaturile care o compun — liniile, suprafețele și volumele — nu ni se înfățișează decît sub un aspect foarte primitiv. Ceva mai mult, universul acesta este încremenit: nu putem descrie în interiorul lui nici o evoluție. Etapa următoare ce trebuie străbătută pentru realizarea unor noi cuceriri științifice este desigur aceea a „mișcării". Lumea raționalizată care ne oferă posibilitatea de a descrie și de a studia mișcarea este tocmai aceea a mecanicii. Însă această sarcină s-a dovedit a fi mult mai dificilă. Într-adevăr, între crearea de către spiritul uman a lumii idealizate a mecanicii clasice și nașterea geometriei a trebuit să treacă 20 de secole.

Să încercăm deci să parcurgem etapele care au permis trecerea de la o lume la cealaltă sau — dacă vreți — etapele care au făcut posibilă îmbogățirea lumii geometriei.

Scanned with OKEN Scanner

Ajunși aici, sîntem obligați să facem o alegere: putem urmări fie ordinea istorică, fie ordinea logică, așa cum ne apare ea acum. Fără să subapreciem interesul pe care îl prezintă prima metodă pentru cel ce vrea să mediteze asupra drumului parcurs de gîndirea umană pusă în fața unei probleme cu adevărat formidabile, vom alege aici totuși, în mod deliberat, cea de-a doua metodă, mai corespunzătoare obiectivului pe care ne-am propus să-l atingem.

Prima dintre noile noțiuni ce trebuia introdusă pentru a îmbogăți lumea geometriei era aceea de timp. Ideile fundamentale de geometrie și de timp permit definirea unei „cinematici", adică a unui cadru în care pot fi descrise mișcările. Trebuie să precizăm însă imediat că noțiunea de timp cinematic astfel introdusă este încă foarte îndepărtată de noțiunea finală care va fi reținută de mecanica definitiv constituită. Mai tîrziu vom da și alte amănunte asupra acestei noțiuni. Să precizăm deocamdată că timpul cinematic este definit printr-o variabilă reală t. A da o valoare lui t înseamnă a defini un „moment". Putem defini de asemenea „durata" — care separă două momente —, precum și noțiunea de anterioritate și de posterioritate. Bazîndu-ne pe aceste definiții, putem spune că o familie de figuri geometrice S_t ce depinde de parametrul t și este definită pentru toate valorile lui t determină evoluția unui același sistem (S) dacă se poate stabili între punctele figurilor (S_{t_1}) și (S_{t_2}) o corespondență punctuală biunivocă $\pi(t_1, t_2)$ astfel ca $\pi(t_1, t_1)$ să fie transformare identică și ca $\pi(t_1, t_3)$ să fie egal cu $\pi(t_1, t_2)\ \pi(t_2, t_3)$. Aceasta înseamnă că dacă $\pi(t_1, t_2)$ face să corespundă unui punct M_1 al lui (S_{t_1}) un punct M_2 al lui (S_{t_2}), iar $\pi(t_2, t_3)$ face să corespundă punctului M_2 al lui (S_{t_2}) punctul M_3 al lui (S_{t_3}), atunci $\pi(t_1, t_3)$ face să corespundă punctului M_1 al lui (S_{t_1}) punctul M_3 al lui (S_{t_3}). Nu vom insista asupra structurilor matematice folosite în această definiție; aceste structuri permit elaborarea unor generalizări cu totul abstracte, conducînd la ceea ce numim uneori „topologie dinamică".

Scanned with OKEN Scanner

Se spune că sistemul (S) astfel prezentat este un „solid în sens cinematic“ dacă transformările π sînt deplasări din geometria euclidiană (amintim încă o dată că toate noțiunile din geometria euclidiană, în special noțiunea de lungime și de spațiu cu trei dimensiuni, sînt presupuse ca însușite). Această noțiune ne permite să precizăm definiția mișcării: se spune că un punct M este „în echilibru“ în raport cu un solid (S) dacă reuniunea lui M și (S) constituie un solid. Același lucru poate fi exprimat spunînd că M este în repaus în raport cu (S). Dacă punctul M nu este în echilibru în raport cu (S), vom spune că M este în mișcare în raport cu acest solid. Se vede că noțiunea de mișcare sau de echilibru n-are sens decît dacă se precizează solidul în raport cu care vrem să definim această mișcare. Un solid în raport cu care sînt observate eventuale mișcări se mai numește și *sistem de referință* sau *reper*. Se mai spune de asemenea că un punct M aflat constant în echilibru în raport cu solidul (S) este „legat“ la acest solid.

Nu vom insista aici asupra noțiunilor clasice care pot fi introduse fără nici o dificultate: traiectoria unui punct, viteza și accelerația. Traiectoria unui punct este curba constituită de mulțimea $M(t)$ a pozițiilor punctului considerat atunci cînd variază timpul. Viteza medie între momentele t și t' este vectorul $\vec{W}\ (t,\ t')$ definit prin

$$\vec{W}(t, t') = \frac{\overrightarrow{OM}(t') - \overrightarrow{OM}(t)}{t' - t}$$

în care O indică un punct arbitrar, însă legat la reperul (R) în care este observată mișcarea.

Viteza la momentul t, $\vec{V}(t)$, este limita lui $\vec{W}(t,\ t')$ atunci cînd, t fiind menținut fix, t' tinde către t. Cu alte cuvinte, $\vec{V}(t)$ este derivata funcției vectoriale $\overrightarrow{OM}(t)$. De asemenea, accelerația la momentul t este vectorul $\vec{\gamma}\ (t)$ definit de derivata de ordinul al doilea a funcției $\overrightarrow{OM}(t)$.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste definiții pot fi extinse la punctele unui sistem „urmărit în mișcarea lui" [în raport cu reperul (R)], adică — pentru a reaminti acest lucru — la un sistem constituit dintr-o mulțime continuă de figuri geometrice (S_t) prevăzută cu corespondența (π).

Faptul că o mișcare nu este definită decît atunci cînd este precizat reperul ne face să luăm în considerare relațiile dintre mișcările unuia și aceluiași sistem în raport cu două repere în mișcare. Intervin în acest caz faimoasele legi ale compunerii vitezelor și accelerațiilor, precum și teoria schimbării reperului din cinematica clasică. Viteza $\vec{V}_a$ a unui punct M dintr-un reper (R_a) este egală cu $\vec{V}_e + \vec{V}_r$, dacă $\vec{V}_r$ este viteza acestui punct într-un reper (R_r) și dacă $\vec{V}_e$ este viteza în (R_a) a punctului care, legat fiind de (R_r), coincide cu M în momentul considerat. Regula pentru accelerații nu e tot atît de simplă: $\vec{\gamma}_a = \vec{\gamma}_e + \vec{\gamma}_r + \vec{\gamma}_e$. Termenul $\vec{\gamma}_e$ (acceleraţie complementară sau acceleraţia lui Coriolis) depinde de viteza relativă $\vec{V}_r$ și de viteza de rotație a reperului (R_r) în raport cu reperul (R_a).

În legătură cu aceste enunțuri trebuie subliniată importanța **ipotezei fundamentale pe care se bazează timpul cinematicii clasice**: conform acestei ipoteze **se poate folosi același mod de măsurare a timpului sau, cu alte cuvinte, aceeași cronologie în diferitele repere aflate în mișcare unele în raport cu altele.** *Consecința acestei concepții este că două evenimente care sînt simultane pentru un observator legat de un reper apar tot ca simultane și pentru observatorii legați de un reper oarecare aflat în mișcare în raport cu primul.* **Pentru ca diferiții observatori să poată constata într-adevăr această simultaneitate, verificîndu-și astfel identitatea cronologiei, concepția de mai sus presupune, din punct de vedere fizic, existența unui semnal care se propagă cu o viteză infinită.** Avem de-a face în acest caz cu o primă schematizare radicală efectuată de mecanica clasică. Această schematizare o face incapabilă să descrie anumite fenomene fizice în care intervin viteze comparabile cu acelea ale semnalului celui mai rapid de care dispunem, adică a unui semnal avînd viteza luminii.

Scanned with OKEN Scanner

Trebuie să mai insistăm în fine — și lucrul acesta este esențial pentru analiza noastră — asupra modului arbitrar în care este definit timpul în cinematică. Dacă t este o cronologie (timpul scurs, *N.E.*) și dacă $T = f(t)$ — în care f este o funcție ce crește constant și suficient de regulat —, atunci T este și el o cronologie. Cu alte cuvinte, toate enunțurile cinematicii (precizăm că este vorba de enunțuri generale ca „accelerația este conținută în planul osculator" sau „componenta normală a accelerației este egală cu produsul curburii traiectoriei cu pătratul vitezei") sînt tot atît de bine verificate prin măsura t ca și prin măsura T. Lucrurile nu se mai prezintă însă la fel atunci cînd este vorba de enunțuri particulare ale mișcării. O mișcare uniformă (arc descris proporțional cu timpul) pentru timpul t, nu mai este uniformă și pentru timpul T dacă funcția $f'(t)$ nu este constantă. De asemenea, dacă această condiție nu este îndeplinită, vectorii accelerației nu mai sînt colineari.

Așa se prezintă în linii mari cinematica clasică. Ea ne permite să definim o lume idealizată în care putem defini și descrie mișcările.

Toate acestea nu reprezintă însă decît o etapă, fiindcă nu e vorba numai să descriem mișcările, ci, în fond, să le și prevedem. Deocamdată, sistemele noastre n-au decît proprietăți geometrice; etapa următoare va consta din a le atribui o „masă". Noțiunea de masă folosită în mecanica clasică este un caz particular al noțiunii matematice de măsură, care constă din a face ca unei mulțimi (numită măsurabilă) să-i corespundă un număr pozitiv sau nul, cu condiția ca corespondența să satisfacă postulatul de aditivitate. Dacă indicăm prin μ o asemenea măsură și dacă A_1, A_2... A_n sînt mulțimi separate a căror reuniune este $\mathfrak{A}$, atunci

$$\mu(\mathfrak{A}) = \mu(A_1) + \mu(A_2)... + \mu(A_n) + ...$$

La un moment dat, este considerat drept „material" un punct a cărui masă nu este nulă. De fapt toate celelalte mulțimi măsurabile luate în considerare de mecanică sînt reuniuni de arce materiale, de suprafețe mate-

Scanned with OKEN Scanner

riale și de volume materiale, iar masele acestor mulțimi sînt definite cu ajutorul maselor specifice lineare, superficiale sau volumice. De exemplu, masa volumică într-un punct M al unui volum material ($\mathfrak{V}$) este limita, în momentul considerat, a raportului $\frac{\Delta m}{\Delta v}$ al masei Δm a unui domeniu (d) de volum Δv care înconjoară punctul M atunci cînd toate dimensiunile lui (d) tind spre zero. În general, funcția de punct definit pe sistemul care este masa specifică nu este constantă.

Toate noțiunile acestea, foarte simple, sînt definite pentru un moment dat, iar evoluția lor este determinată de prima lege a mecanicii clasice, numită legea conservării masei: **masa oricărei părți a unui sistem urmărit în mișcarea lui este independentă de timp.** Este necesar să insistăm în acest loc asupra poziției luate de mecanica clasică: *universul ei este un univers continuu.* O tijă de mică grosime, un disc subțire, o bilă plină făcînd parte din universul nostru fizic sînt schematizate, de obicei, în mecanică printr-un segment rectiliniu material, printr-un cerc material sau printr-o sferă materială, a căror masă este definită cu ajutorul masei specifice. În zadar fizicianul ar scoate în evidență faptul că tija nu este cu adevărat continuă, ci e formată din atomi și că în realitate este „mai mult goală decît plină". Mecanicianul clasic — cel puțin în stadiul lui de schematizare — n-are să-i dea nici o atenție și are să se mulțumească cu concepția lui de continuitate a spațiului și a materiei, oricît de grosolană ar putea ea să pară. *Aceasta este cea de-a doua schematizare concepută de mecanica clasică, care-i interzice, din motive ce țin de natura ei congenitală, să explice fenomenele la scara moleculară sau atomică.*

Disciplina care studiază noțiunile noi ce rezultă din introducerea maselor în lumea cinematicii este cinetica și una din uneltele esențiale ale acestei discipline este integrala luată în raport cu distribuția maselor. Fiecărei funcții scalare (sau vectoriale) definită pe sistemul (S) i se poate asocia astfel un număr (sau un vector) rezultat din această operație asupra funcției date. Dacă

Scanned with OKEN Scanner

distribuția maselor se reduce la un număr finit de mase punctuale, finite, aceste integrale sînt sume finite, iar dacă distribuția este definită printr-o masă volumică, integrala va putea fi exprimată ca o integrală de volum.

Printre noțiunile cineticii (definite la un moment t fixat) vom semnala torsorul cantităților de mișcare (Ω) definit pe baza cîmpului de viteze $\vec{V}(M)$ care constituie densitatea de masă ce determină torsorul: rezultanta generală și momentul rezultant într-un punct O sînt integralele luate în raport cu distribuția maselor lui $V(M)$ și $\overrightarrow{OM} \wedge \vec{V}(M)$ care este momentul în O al lui $\vec{V}(M)$, adică

$$\int_{(S)} \vec{V}(M)\mathrm{d}\mu, \int_{(S)} \overrightarrow{OM} \wedge \vec{V}(M)\mathrm{d}\mu.$$

Prima integrală nu este altceva decît $m\vec{V}_G$ dacă m este masa lui (S), iar G centrul de inerție al sistemului.

Torsorul cantităților de accelerație ($\mathfrak{A}$) se definește în același fel pe baza cîmpului de accelerații $\vec{\gamma}(M)$. Rezultanta lui generală și momentul lui rezultant în O sînt date de

$$\int_{(S)} \vec{\gamma}(M)\mathrm{d}\mu, \int_{(S)} \overrightarrow{OM} \wedge \vec{\gamma}(M)\mathrm{d}\mu;$$

prima integrală nu este altceva decît $m\,\gamma_G$, în care γ_G reprezintă accelerația centrului de inerție G al sistemului.

Energia cinetică este integrala funcției scalare $\frac{1}{2}\vec{V}^2(M)$ în raport cu distribuția maselor, adică

$$\frac{1}{2}\int_{(S)} \vec{V}^2(M)\mathrm{d}\mu.$$

Socotim că nu este cazul să reamintim aici diferitele relații care leagă aceste cantități.

Ultima noțiune necesară pentru constituirea lumii dinamice este schematizarea noțiunii vulgare de „eforturi exercitate asupra unui sistem (S)". *Distincția esențială care trebuie făcută este aceea dintre eforturile inte-*

Scanned with OKEN Scanner

rioare lui (S) (adică eforturi exercitate de anumite părți ale sistemului asupra altor părți ale aceluiași sistem) și eforturile exterioare (adică eforturi exercitate asupra lui (S) de către alte sisteme decît (S)). Numai eforturile exterioare capătă o definiție matematică precisă. Un sistem de eforturi (sau, mai precis, de forțe, dacă mișcarea se face fără șocuri, ceea ce se presupune aici) exercitate asupra lui (S) poate fi reprezentat printr-un cîmp de vectori $\vec{f}(M)$ și o măsură (ω), care este distribuția maselor fictive; $\vec{f}(M)$ este densitatea forțelor în raport cu măsura (ω). Ne vom ocupa în special de torsorul $(\mathfrak{F})$, adică de torsorul forțelor exterioare exercitate asupra lui (S). Rezultanta lui generală și momentul său rezultant într-un punct O sînt reprezentate de integralele luate în raport cu măsura (ω) a vectorilor $\vec{f}(M)$ și $\overrightarrow{OM} \wedge \vec{f}(M)$, adică

$$\int_{(S)} \vec{f}(M)\,d\omega \text{ și } \int_{(S)} \overrightarrow{OM} \wedge \vec{f}(M)\,d\omega.$$

Dacă (ω) se identifică cu distribuția maselor reale, se zice că $\vec{f}(M)$ este densitatea masică a forțelor, iar dacă (ω) constă din p puncte ale lui (S) de măsură finită egală cu $1, P_1 \ldots P_p$, sistemul de forțe este acela de p forțe finite $\vec{f}(P_1) \ldots \vec{f}(P_p)$. Dacă (ω) este măsura volumică, adică dacă volumul său este măsura unui domeniu, atunci $\vec{f}(M)$ este densitatea volumică a forțelor exterioare.

Iată, descrisă pe scurt, lumea mecanicii clasice. Cît este de simplă și de săracă! Geometria euclidiană; o noțiune de timp calchiată după aceea de număr real; o noțiune de masă definită prin funcții scalare; forțe exterioare definite prin cîmpuri de vectori — aceasta este zestrea mecanicii clasice! Se poate oare concepe ceva mai simplu, ținînd seama că ceea ce se încerca să se schematizeze implica noțiuni atît de vagi ca punctul de aplicație, direcția și intensitatea? Pentru a construi această lume idealizată, imaginația mecanicienilor clasici nu a mers prea departe în căutarea unor noțiuni de mare subtilitate. Ne mai rămîne acum să definim regula jocului în acest univers, adică să formulăm relația dintre forțe (care schematizează

Scanned with OKEN Scanner

ceea ce numim în vorbirea obișnuită „cauzele") și efectele (adică descrierea mișcării produse). Ne vom permite să subliniem și în acest caz simplicitatea acestei reguli reproducînd enunțul cu adevărat clasic al legii fundamentale a întregii dinamici clasice, lege care guvernează toate mișcările imaginabile, acelea ale mecanicii solidelor și ale mecanicii fluidelor, ale corpurilor elastice și ale corpurilor plastice:

Există cel puțin un reper (numit reper absolut) și o singură cronologie (timpul absolut) de așa fel încît în fiecare moment și pentru orice parte a sistemului torsorul cantităților de accelerație este echivalent cu torsorul forțelor exterioare aplicate părții $[\mathfrak{A}] = [\mathfrak{F}]$.

Ne vom mărgini să insistăm aici asupra unui aspect care ne interesează în mod deosebit: noțiunea de timp este cu mult mai bine precizată prin acest enunț. Măsura timpului nu se caracterizează în dinamică prin poziția extraordinar de arbitrară pe care am remarcat-o în cinematică. Dacă t indică o măsură absolută a timpului, atunci orice altă măsură absolută T a timpului (adică una pentru care enunțul precedent rămîne valabil) este definită prin $T = at + b$, în care a și b sînt constante, din care prima este pozitivă, dacă dorim să păstrăm sensul trecutului și al viitorului. Enunțul legii fundamentale dă într-adevăr un sens fizic noțiunii de accelerație. Viteza și accelerația pot fi deci definite fără nici un echivoc pentru orice cronologie absolută, cu singura excepție a unui factor multiplicativ constant care nu depinde decît de alegerea unităților. Și fiindcă

$$\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}T} = \frac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}\,\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}T}$$

funcția $T(t)$ are în mod necesar forma indicată. Deoarece originea timpilor n-are, evident, decît o importanță redusă, singurul lucru care rămîne arbitrar este definiția unității de durată. În tot ce urmează nu utilizăm pentru măsurarea timpilor decît cronologia absolută.

Nu-i aici locul să continuăm studiul acestei scheme a mecanicii clasice și să arătăm modul în care în decursul secolelor dezvoltarea acestui studiu a stat la originea a numeroase îmbogățiri ale gîndirii științifice. În schimb,

Scanned with OKEN Scanner

socotim neapărat necesar să insistăm asupra neîncetatului dialog ce avea să se stabilească între această lume idealizată (pe care am prezentat-o aici în mod voit sub aspectul ei teoretic) și lumea experienței fizice. De asemenea, trebuie să subliniem încă de pe acum că elaborarea noțiunilor și a regulilor jocului, pe care le-am reamintit mai mult în treacăt, sînt rodul unei meditări istorice asupra datelor experienței. Însă chiar dacă această schemă a putut fi considerată la un moment dat drept definitivă, ea trebuia — pentru a putea fi pusă în legătură cu lumea experienței noastre — să mai răspundă la următoarele întrebări:

1) Cum să se aleagă în lumea noastră fizică un reper care să joace rolul unuia din reperele absolute de care vorbește legea fundamentală?

2) Cum să se definească și să se măsoare timpul în lumea noastră fizică, pentru ca el să poată fi asimilat cu acela despre care este vorba în enunțul legii fundamentale?

3) Cum să se măsoare masele și forțele din lumea fizică pentru ca schema prevăzută să fie aplicabilă?

Odată făcute aceste determinări, ar fi trebuit să existe o posibilitate de a se verifica validitatea schemei propuse prin compararea mișcărilor observate pe cale fizică cu mișcările omologe calculate în cadrul mecanicii, ceea ce ar fi permis ca în cutare sau cutare eventualitate să se precizeze validitatea modelului construit, precum și gradul de precizie atins în previziunea fenomenelor.

În realitate, operațiile de mai sus, înșirate într-o ordine determinată de comoditatea expunerii, nu pot fi disociate între ele. Se știe că pentru a ajusta lumea experienței și lumea teoriei una la cealaltă a fost nevoie de secole întregi de muncă umană. Prea des se întîmplă astăzi să uităm sumedenia de eforturi ce au trebuit făcute în condiții foarte grele, atît pe plan teoretic cît și pe plan experimental, pentru a obține rezultatele la care am ajuns.

În această expunere nu putem descrie decît foarte pe scurt principalele aspecte ale metodei utilizate. Vom insista însă cu toată vigoarea asupra caracterului dialectic al acestei metode și asupra avansării ei prin aproxi-

Scanned with OKEN Scanner

mații succesive, metodă folosită atunci cînd a fost vorba să se adapteze schema mecanicii clasice atît la mișcarea corpurilor cerești, cît și la sistemele din preajma Pămîntului. Ne vom mărgini să examinăm aici cazul binecunoscut al mișcării planetelor.

Problema reperului este cea dintîi care trebuie luată în considerare. După legea compunerii accelerațiilor, orice reper aflat în translație uniformă în raport cu un reper absolut poate fi calificat și el ca reper absolut. Acesta este *principiul relativității galileene*. Dimpotrivă, într-un reper care se află într-o mișcare oarecare este necesar — pentru a putea generaliza asupra acestei mișcări legea fundamentală a dinamicii — să adăugăm la forțele ce se exercită asupra sistemului niște forțe fictive de antrenare avînd o densitate masică $-\vec{\gamma}_e(M)$ și forțe fictive complementare cu densitatea masică $-\vec{\gamma}_c$. Aceste din urmă forțe sînt nule dacă reperul este animat de o mișcare de translație în raport cu un reper absolut. Dacă aplicăm legea fundamentală a dinamicii clasice la totalitatea universului, vom avea $[\mathfrak{A}] = O$, fiindcă forțele exterioare sînt prin definiție nule. Centrul de inerție U al universului poate fi considerat deci ca fiind legat de un reper absolut. Observația astronomică ne conduce în acest caz să concepem ca reper absolut un reper definit prin U, precum și prin dreptele pornind de la U și avînd o direcție legată de direcția stelelor numite fixe.

După ce am definit astfel un reper absolut universal, este necesar să luăm în considerare repere mai accesibile din punct de vedere fizic pentru observarea mișcărilor. Pe baza acestor rezultate teoretice se poate dovedi cu ușurință că un reper ce are drept origine centrul de inerție al sistemului solar și direcții legate de acelea ale unui reper universal poate fi considerat, cu o aproximație excelentă, drept absolut. Acesta este reperul planetar al sistemului solar. Însă datorită faptului că în sistemul solar masa Soarelui este preponderentă, poate fi considerat, de asemenea, ca absolut (desigur, cu o aproximație mai puțin bună) un reper aflat în translație în raport

Scanned with OKEN Scanner

cu precedentul, dar legat de centrul de inerție al Soarelui. Pe acest reper îl vom numi reper solar. Toate aceste considerații se bazează pentru moment pe faptul, prea puțin lămurit încă, dar foarte natural, că un corp A exercită asupra unui corp B o acțiune cu atît mai puternică cu cît masa lui A este mai mare și cu cît distanța AB este mai mică.

Cu o aproximație și mai puțin bună, dar care este mai mult decît suficientă pentru studiul mișcărilor din vecinătatea Pămîntului (atunci cînd nu este vorba de mișcarea unor mase importante, cum este, de exemplu, fenomenul complex al mareelor), poate fi considerat drept absolut un reper avînd drept origine centrul Pămîntului și direcții legate de stelele fixe. Aceasta înseamnă că, în vecinătatea Pămîntului, neglijăm acțiunea stelelor, a Soarelui, a planetelor și a Lunii. În raport cu un asemenea reper, Pămîntul, considerat ca un solid cu simetrie materială sferică, are în mod necesar, conform teoriei, o mișcare de rotație uniformă. Periodicitatea acestei mișcări diurne o constatăm în mod efectiv, lucru care înseamnă că am găsit o primă modalitate, desigur imperfectă, dar adesea suficientă, de a defini fizic un timp absolut și — ceea ce este tot atît de important — de a intra în posesia unui prim etalon al lui. Într-adevăr, *în cazul timpului ne este imposibil să realizăm un etalon statistic pe care să-l păstrăm într-un pavilion, așa cum se face cu etaloanele de lungime și de masă*. Pentru timp avem nevoie de un fenomen care să aibă o periodicitate cît mai perfectă cu putință și care să se mențină în decursul unor durate suficient de mari. Acest prim etalon ne este procurat deci de mișcarea diurnă, iar constatarea periodicității acestei mișcări ne oferă o primă verificare a aplicabilității principiilor stabilite de mecanica clasică.

Să luăm acum în considerare mișcarea unei planete în reperul solar, cronologia fiind cea definită de mișcarea diurnă. Observarea mișcării planetelor ne conduce în cazul acesta la faimoasele legi ale lui Kepler. Or, în lumea teoretică a mecanicii, atunci cînd anumite puncte materiale se mișcă așa cum arată legile lui Kepler, aceasta se întîmplă din cauză că rezultanta forțelor aplicate fiecăruia din ele este proporțională cu masa lui și invers

Scanned with OKEN Scanner

proporțională cu pătratul distanței pînă la originea reperului. Acesta este primul aspect al procesului dialectic despre care am vorbit: se folosește legea fundamentală pentru a deduce, dintr-o mișcare observată, care sînt forțele în joc. **Acest rezultat ne conduce printr-o generalizare cu totul firească la legea atracției newtoniene, care ne dă posibilitatea să cunoaștem forțele prezente în mișcarea planetelor.**

Putem relua acum problema cu mai multă precizie. Să ne plasăm în reperul planetar al sistemului solar (lucru justificat dacă neglijăm influența stelelor asupra mișcării corpurilor din acest sistem). Sîntem atunci în stare ca printr-o nouă aplicare a legii fundamentale (aflarea mișcării cu ajutorul forțelor cunoscute) să punem problema mișcării planetelor prin aplicarea teoriei mecanicii clasice, dar ținînd socoteală în același timp și de acțiunea reciprocă a planetelor. Aceasta este celebra problemă a celor *n* corpuri. Ne-am putea gîndi să formăm un sistem de ecuații diferențiale a căror soluție ar trebui să ne permită prevederea pozițiilor diferitelor planete la momente determinate. Într-un asemenea sistem, un anumit număr de parametri rămîn însă necunoscuți. Este vorba de raportul dintre masele diferitelor planete și masa Soarelui, precum și de definiția precisă a timpului absolut. Or, problema este următoarea: alegînd în mod convenabil raportul acestor mase și precizînd măsura timpului utilizat, putem să descriem mișcarea observată? Răspunsul se cunoaște: singura abatere mai importantă față de calcul este reprezentată de diferența de 43 de secunde pe secol în deplasarea periheliului lui Mercur. Rezultă deci că timpul care corespunde timpului absolut al mecanicii poate fi definit pe baza mișcărilor orbitale, prevăzute teoretic, ale planetelor și sateliților acestora.

Aceste rezultate, pe care le-am reamintit pe scurt, precum și cele obținute prin studiul sistemelor din vecinătatea Pămîntului sînt atît de remarcabile, încît i-au făcut pe unii să creadă că legile și conceptele mecanicii clasice sînt caracteristici definitive și riguroase ale universului nostru fizic. Or, trebuie să ne fie cu totul limpede că nu există legi definitive în sensul strict al cu-

Scanned with OKEN Scanner

vîntului. Se poate vorbi cel mult de o „ajustare" (oricît de remarcabilă ar fi ea) a unei lumi matematice ideale la anumite aspecte ale lumii noastre fizice, extrem de complexă, dar nu de o „identificare riguroasă". De aceea, **n-a existat niciodată și nu se va produce niciodată vreo criză a cutărei sau cutărei teorii fizico-matematice. Asemenea crize există cel mult în conștiința celor care acordă o încredere aproape metafizică unei scheme elaborate de știință.** Totul se reduce pur și simplu la faptul că, descoperindu-se un nou fenomen sau analizîndu-se un anumit aspect al experienței, se constată că schemele inițiale nu mai sînt capabile să explice noile aspecte experimentale.

Timpul mecanicii clasice, calificat în mod destul de nefericit ca absolut, nu scapă de această soartă a creațiilor științei. Capitolul lui Jean Delhaye ne va expune metoda efectivă pentru definirea și determinarea acestui timp, precum și precizia cu care poate fi măsurat. Dar indiferent de progresele ce vor fi realizate de acum înainte, însăși natura lucrurilor (și nu numai imperfecțiunea mijloacelor noastre de măsurare sau a calculelor noastre) va face ca precizia atinsă în măsurarea acestui timp să nu poată depăși niciodată o anumită limită. Alte capitole au tocmai scopul de a scoate în evidență insuficiențele noțiunii de timp în calitatea ei de entitate a lumii experienței. Analiza lui Einstein a demonstrat că noțiunea unui timp independent de reperul pe baza căruia sînt făcute observațiile este de nesusținut într-un univers în care viteza semnalelor aflate la dispoziția noastră este limitată. *Fizica cuantică scoate în evidență și alte insuficiențe. Ceea ce ne uimește însă nu sînt aceste insuficiențe, ci mai degrabă faptul că caracteristicile universului nostru au permis spiritului uman să degaje din ele o schemă atît de simplă cum este mecanica clasică, și că această schemă s-a dovedit capabilă să explice în mod satisfăcător un vast domeniu al experienței. Sîntem, poate, îndreptățiți să credem că dezvoltarea științelor ar fi fost grav compromisă dacă o astfel de schemă nu și-ar fi găsit un cîmp de aplicare atît de larg.*

Scanned with OKEN Scanner

Timpul astronomilor

JEAN DELHAYE
Astronom titular la Observatorul din Paris

Așa cum au arătat cele două capitole precedente, timpul nu poate fi măsurat direct și nu ne este accesibil decît în măsura în care percepem schimbări în partea de univers care ne înconjoară. Măsurarea unei durate devine în acest caz posibilă prin observarea evoluției concomitente a unui fenomen material. Acest fapt impune ca teoria evoluției acestui fenomen să ne fie cunoscută sau, cu alte cuvinte, ca fazele succesive ale acestei evoluții să fie definite prin parametri măsurabili, adică prin funcții cunoscute ale variabilei numită timp. În acest caz, fenomenul definește un orologiu.

Mișcările guvernate de legile mecanicii constituie astfel de fenomene. Într-adevăr, fie că este vorba de puncte sau de sisteme materiale, aceste mișcări se traduc prin variația parametrilor care definesc poziția mobilului în spațiu, variații pe care legile mecanicii ne permit să le exprimăm prin funcții de variabila indicată prin t, a cărei definiție este conținută în mod implicit în enun-

Scanned with OKEN Scanner

ţul legii fundamentale a dinamicii $\vec{F} = m \frac{d^2\vec{M}}{dt^2}$ şi pe care o vom denumi timpul mecanicii.

Orologii planetare

Mişcările aştrilor (planete şi sateliţi ai lor) care constituie sistemul solar au o stabilitate garantată de legile care le guvernează şi de condiţiile în care se săvîrşesc. Inventarul forţelor în joc este simplu: ele pot fi reduse la forţele newtoniene (dacă li se fac cîteva corecţii pentru a se ţine seama de micile abateri interpretate astăzi în cadrul mecanicii relativiste); forţele de frecare sînt neglijabile. Ne aflăm deci într-un caz deosebit de potrivit pentru un studiu clasic. Ceva mai mult, aceste mişcări sînt cvasiperiodice, astfel că avem posibilitatea să analizăm cu mare precizie variaţia lentă a perioadei lor. În fine, observaţiile acumulate de multiplele generaţii de astronomi fac posibilă determinarea valorilor numerice ale constantelor care intervin în expresiile diferiţilor parametri în funcţie de timp. Aceste caracteristici proprii mişcărilor planetare fac ca ele să poată fi folosite drept excelente repere de timp.

Ne permit însă ele să atingem precizia cerută? Şi în ce mod definesc ele unitatea necesară pentru a exprima duratele într-o scară continuă? Astronomia fundamentală îşi consacră eforturile în special studiului acestor probleme, fiindcă, deşi mişcările considerate aici prezintă avantajele certe descrise mai sus, teoria lor poate şi trebuie să fie considerată ca perfectibilă fie prin luarea în considerare a efectelor perturbatoare slabe, neglijate mai înainte, fie prin ameliorarea estimării valorilor numerice ale constantelor ce caracterizează fiecare mişcare. De fapt, teoria unei mişcări planetare nu poate fi niciodată considerată ca încheiată. Singurul lucru ce-l putem afirma este că în cutare sau cutare epocă această teorie a ajuns într-un stadiu suficient de avansat de elaborare pentru a sintetiza toate observaţiile disponibile pînă atunci.

Scanned with OKEN Scanner

Timpul efemeridelor

Dispunînd de o teorie care — așa cum am arătat mai sus — aproximează în mod esențial realitatea observată, avem posibilitatea de a calcula pentru o serie de valori convenabil eșalonate ale variabilei t, valorile numerice ale parametrilor care fixează poziția mobilului: rezultatul unui asemenea calcul se numește *efemerida mișcării obiectului considerat*. Măsurarea valorii pe care unul dintre acești parametri o are într-un anumit moment ne permite atunci ca printr-o interpolare inversă făcută în efemeridă să cunoaștem valoarea variabilei t pentru același moment. Teoria folosită nefiind decît aproximativă, valoarea aflată nu coincide exact cu cea a timpului mecanicii din același moment: îl vom numi de aceea *timpul efemeridei astrului observat*.

Dacă considerăm simultan mai multe mișcări planetare, fiecare din aceste mișcări (care ne-ar duce la timpul unic al mecanicii dacă toate teoriile ar fi perfecte, adică dacă am putea ține seama de toate forțele în joc) ne conduce de fapt la timpul propriei sale efemeride, astfel că diferitele scări de timp definite în acest mod s-ar putea să nu concorde între ele. *Totuși, datorită faptului că abaterile observate într-o efemeridă și alta ne oferă mijlocul de a ameliora teoriile, acele teorii care se află pe o treaptă mai înaltă de elaborare vor constitui în mod necesar un ansamblu coerent, capabil să definească în final niște scări de timp suficient de armonizate între ele în limitele de precizie permise. Fiecare dintre aceste scări de timp reprezintă materializarea particulară a unei scări unice, pe care o putem numi timpul efemeridelor, și care constituie cea mai bună aproximare posibilă, la o epocă dată, a timpului mecanicii.*

Așa cum este prezentată mai sus, noțiunea de timp al efemeridelor rămîne deocamdată prea abstractă și nu este suficientă pentru nevoile practice ale metrologiei. Pentru satisfacerea acestor cerințe este necesară adop-

Scanned with OKEN Scanner

tarea unei mișcări-etalon unică. După cum vom vedea mai departe, timpul efemeridelor este definit în acest scop, în mod convențional, prin efemerida Soarelui. Totuși, cele spuse mai sus sînt foarte bine ilustrate de faptul că, în practică, timpul efemeridelor este măsurat prin observarea mișcării Lunii, tocmai pentru că acest corp ceresc face posibilă o precizie mai mare.

Un orologiu prea neregulat: Pămîntul

N-am luat în considerare pînă acum decît mișcările orbitale. Cum principiile fundamentale ale mecanicii permit, de asemenea, să se elaboreze teoria mișcării unui corp în jurul centrului său de greutate, timpul mecanicii poate fi materializat și cu ajutorul rotației diurne a Pămîntului. Timpul materializat pe această cale este numit în mod obișnuit *timp terestru*. Se numește *timp universal* timpul terestru, exprimat într-o scară convențional adoptată.

Din punct de vedere istoric, prima materializare a timpului mecanicii a fost constituită de timpul terestru. Într-adevăr, vreme îndelungată, teoria acestui timp a părut deosebit de simplă datorită uniformității cu care se credea că se învîrtește Pămîntul în jurul axei sale. Considerată la început ca un postulat, constanța vitezei instantanee a rotației terestre a putut fi demonstrată atunci cînd s-a aplicat Pămîntului teoria lui Euler, care permitea studierea rotației unui corp solid în jurul centrului său de greutate. S-a constatat atunci că axa instantanee de rotație este mobilă atît în raport cu reperele fixe din spațiu (precesiunea și nutația), cît și în raport cu anumite repere legate de Pămînt (mișcarea polului), dar că viteza instantanee de rotație rămîne neschimbată în decursul timpului.

Aplicarea teoriei lui Euler la Pămînt implică două ipoteze: a) acțiunile exercitate asupra Pămîntului de către Soare și Lună sînt exclusiv gravitaționale; b) Pămîntul poate fi considerat ca un corp solid.

Scanned with OKEN Scanner

Este evident că cea de-a doua ipoteză nu poate fi decît aproximativă: Pămîntul este înconjurat de apă (oceanele) şi de gaze (atmosfera), ale căror mişcări le putem constata cu uşurinţă. Ceva mai mult, porţiunea ce ni se pare solidă şi în care este acumulată cea mai mare parte a masei Pămîntului este în realitate elastică (are o elasticitate comparabilă cu aceea a oţelului), iar stratu rile ei superficiale sînt, poate, sediul unor deplasări d mase care au drept consecinţă variaţii ale momentului inerţie general. Condiţiile reale sînt deci foarte îndepă tate de ipotezele lui Euler: mişcările axei instantan prevăzute de Euler sînt modificate şi — lucrul cel r important — constanţa vitezei de rotaţie nu poate decît aproximativă.

Dacă teoria variaţiilor vitezei de rotaţie a Pămînt şi a mişcărilor axei instantanee ar putea fi elaborată exactitatea necesară, fenomenele acestea n-ar împied calculul unei efemeride a rotaţiei terestre. *Dar cauz acestor fenomene se sustrag, în cea mai mare parte, oricăr analize riguroase.* De fapt, tocmai comparaţia timpul terestru cu timpul efemeridelor a fost aceea care a per mis scoaterea în evidenţă a acestor variaţii, iar compararea timpului terestru cu timpul atomic dă posibilitatea ca studiul primului timp să fie făcut în mod continuu şi cu o precizie din ce în ce mai mare.

Variaţiile vitezei de rotaţie a Pămîntului pot fi de trei categorii: unele sînt progresive, altele periodice sau cvasiperiodice, iar altele, în fine, sînt aleatorii. Variaţiile progresive sînt lente, iar variaţiile periodice sau cvasiperiodice au o amplitudine redusă, ca şi variaţiile aleatorii de altfel. Nu este deci surprinzător faptul că ipoteza rotaţiei uniforme a Pămîntului a putut fi menţinută vreme îndelungată fără să stinghereasca dezvoltarea mecanicii cereşti. Este interesant de observat totuşi că astronomii care erau forţaţi să o aplice nu-şi făceau nici o iluzie în privinţa ei. Kepler, de exemplu, s-a referit de mai multe ori la posibilitatea variaţiei rotaţiei terestre, iar Lalande a scris în 1771 că rotaţia Pămîntului este presupusă uniformă „deoarece n-au fost observate încă fenomene care să indice vreo inegalitate", deşi inegalitatea rotaţiei Pămîntului poate „atinge 2 sau 3 secunde de timp în de-

Scanned with OKEN Scanner

cursul unui an fără să avem posibilitatea de a ne da seama de acest lucru prin observații".

Comparația scării de timp definite de rotația terestră, presupusă uniformă, cu scara de timp definită prin mișcările orbitale ne obligă să ne întoarcem înapoi pînă în 1695. Comparînd observațiile asupra vechilor eclipse, menționate în Almageste sau în cronicile ce relatau observațiile astronomice făcute de arabi la sfîrșitul secolului IX-lea, cu observațiile făcute pe timpul său, Halley a constatat, în 1695, că observațiile acestea nu coincideau între ele decît cu condiția să se adauge la expresia teoretică a longitudinii Lunii un termen secular suplimentar, proporțional cu pătratul timpului, adică avînd forma st^2. În decursul secolului al XVIII-lea au fost făcute diferite determinări ale valorii numerice a coeficientului s care au confirmat existența termenului descoperit de Halley.

După cum era și logic, vina a fost aruncată în primul rînd asupra efemeridei Lunii, și deci asupra teoriei mișcării ei. Problema i-a interesat pe toți matematicienii timpului, iar cel care a rezolvat-o, cel puțin în parte, a fost Laplace. Într-adevăr, studiind teoria mișcării sateliților lui Jupiter, acest mare matematician a demonstrat că variația seculară a excentricității orbitei acestei planete are drept consecință o variație de aceeași natură a mișcărilor medii ale sateliților. Or, perturbațiile provocate mișcării orbitale a Pămîntului de către atracția celorlalte planete are drept efect variația lentă a excentricității orbitei terestre. Ca urmare a acestui fapt, mișcarea medie a Lunii va suferi o accelerație care se traduce tocmai printr-un termen de forma st^2 ce trebuie introdus în expresia longitudinii Lunii în funcție de timp. Un rezultat eronat al calculului valorii lui s a făcut la un moment dat ca problema să fie considerată drept rezolvată. Calculele făcute în decursul secolului al XIX-lea, în special de către Adams și Delaunay, au arătat însă că, deși fenomenul descoperit de Laplace era real, el nu explica totuși decît jumătate din termenul empiric descoperit de Halley.

Publicarea, în 1857, de către Hansen a unor noi tabele ale mișcării Lunii avea să furnizeze mijlocul pentru

Scanned with OKEN Scanner

reluarea acestui studiu pe baze noi. Pentru ca aceste tabele — întocmite pentru a reda cît mai exact observațiile făcute între 1750 și 1850 asupra Lunii — să prezinte un acord satisfăcător cu observațiile făcute în antichitate, autorul lor a fost obligat să introducă în ele, în afara accelerației seculare despre care am vorbit mai sus, anumiți termeni periodici, din care unul rămăsese pur empiric, adică fără o justificare teoretică cunoscută.

S-a observat curînd că termenul acesta nu mai reprezenta și observațiile ulterioare anului 1850. Se impunea deci o nouă analiză de ansamblu, care a fost întreprinsă la începutul secolului nostru de către Newcomb, în vreme ce Brown elabora o nouă teorie a mișcării Lunii. Newcomb a demonstrat că dificultățile întîmpinate nu puteau fi înlăturate decît încetînd de a mai considera rotația terestră ca uniformă și trecînd asupra acestei din urmă mișcări inegalitățile ce nu puteau fi explicate pe cale teoretică și care erau atribuite mai înainte mișcării Lunii, sau, cu alte cuvinte, încetînd de a mai considera timpul terestru ca identificîndu-se cu timpul mecanicii.

Deoarece toate observațiile astronomice sînt datate în timp terestru, orice inegalitate a acestui timp trebuie să se reflecte nu numai în mișcarea observată (și deci datată) a Lunii, ci și în ansamblul mișcărilor planetare. Această remarcă implică posibilitatea de verificare a ipotezei lui Newcomb. Verificarea definitivă o datorăm lui Spencer Jones (1939). În prezent putem considera drept dovedit că: a) accelerația seculară aparentă a mișcării Lunii este însoțită de inegalități de același fel în mișcarea Soarelui, a lui Mercur și a lui Venus și că responsabilă de acest fenomen este încetinirea progresivă a rotației Pămîntului; b) gradul acestei încetiniri nu este constant; c) variațiile cărora li s-a atribuit la început un caracter periodic (cum sînt cele introduse de Hansen în tabelele de mișcări ale Lunii) și pe care mecanica cerească n-a putut să le interpreteze, afectează și ele de fapt rotația Pămîntului; d) caracterul periodic al acestor variații este aparent, fiindcă adevărata lor natură este aleatorie. În prezent, viteza de rotație a Pămîntului descrește în medie în așa fel încît durata zilei crește cu 0,002

Scanned with OKEN Scanner

secunde pe secol. Variațiile sînt mai mari decît încetinirea, însă efectul lor nu este cumulativ.

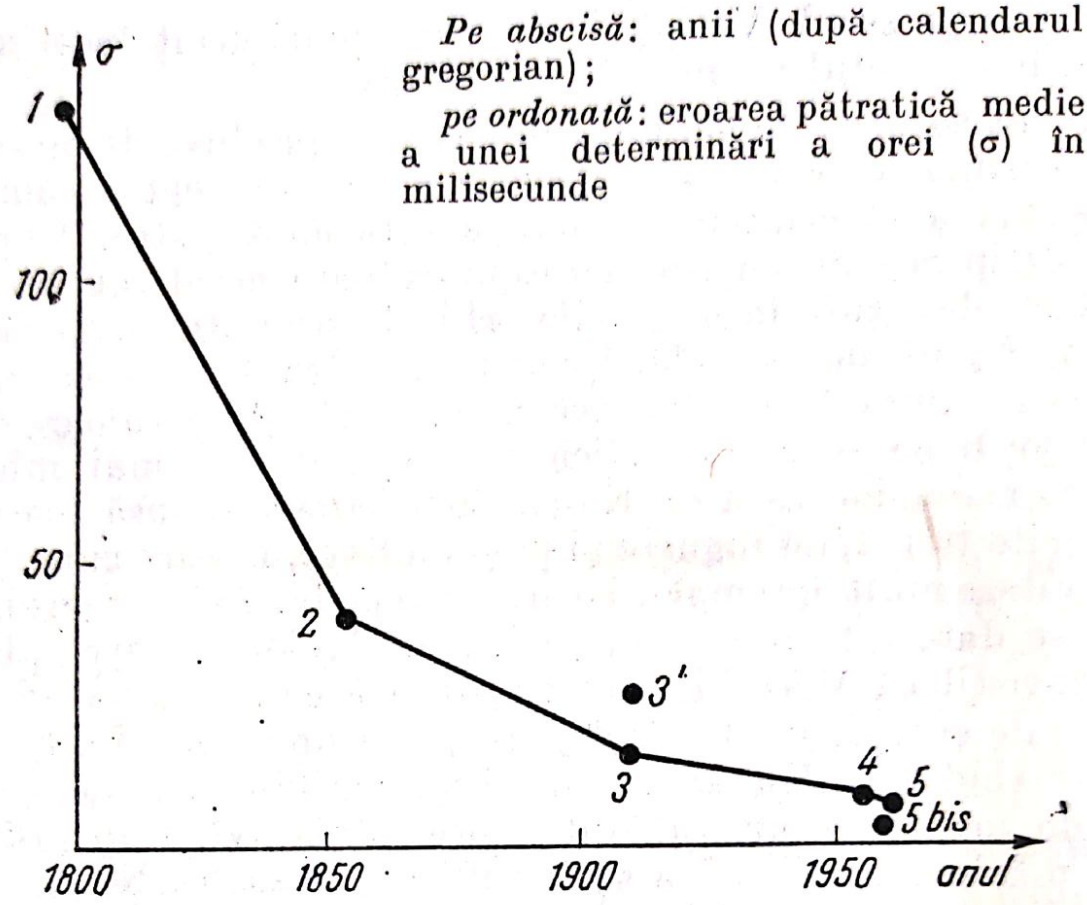
Kant socotise la timpul său frecarea produsă de maree și disiparea de energie provocată de ele drept o cauză posibilă a încetinirii seculare a rotației terestre. După el, disiparea de energie corespunzătoare accelerației seculare observate în mișcările orbitale studiate[1] ar fi fost de 10^{12} jouli pe secundă. Dacă se calculează frecarea provocată numai de mareele oceanice, se găsește o valoare de 10^{9} jouli pe secundă, adică de o mie de ori mai mică decît aceea indicată de Kant. Condițiile sînt însă foarte diferite în mările înguste și puțin adînci, în care curenții au viteze mult mai mari, iar frecarea pe fund și pe margini nu se datorește numai viscozității. Taylor, de exemplu, a dovedit că Marea Irlandei provoacă ea singură o pierdere de energie de 3×10^{10} jouli pe secundă, iar Jeffreys, extinzînd calculele asupra unui număr însemnat de mări și de golfuri, a obținut o disipare totală avînd un ordin de mărime suficient ca să justifice ipoteza lui Kant.

Interpretarea variațiilor nu este chiar atît de simplă. S-a invocat drept cauză posibilă variațiile bruște ale momentului de inerție al Pămîntului, dar progresele realizate în construcția orologiilor (mai întîi pendule funcționînd la temperatură și presiune constantă, apoi orologii cu cuarț și, în fine, etaloane atomice și moleculare de frecvență) ne permit astăzi să comparăm, în condiții cu totul noi, timpul terestru cu scări de timp mai uniforme decît el. În plus — așa cum vom vedea mai departe — aceste noi mijloace ne oferă posibilitatea de a analiza mult mai precis inegalitățile pe care le prezintă.

Începute pe vremea cînd singurul aparat folosit pentru măsurarea timpului astronomic era luneta meridiană, aceste comparații au beneficiat de vreo zece ani încoace de o creștere considerabilă a preciziei (fig. 2) datorită punerii în serviciu a telescopului fotografic zenital și în special a astrolabului impersonal al lui A. Danjon. Com-

[1] Este vorba despre accelerarea aparentă a mișcării altor corpuri cerești, fapt care se explică, în realitate, prin încetinirea rotației Pămîntului *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner



Pe abscisă: anii (după calendarul gregorian);

pe ordonată: eroarea pătratică medie a unei determinări a orei (σ) în milisecunde

Fig. 2. Evoluția preciziei de măsurare a timpului (după L. Arbey și S. Débardat. *Annalles Françaises de Chronometrie*, t. XI, fasc. 3, 1957).

1. 1797 — Determinare după Soare (lunetă meridiană cu 1 fir fix)

2. 1855 — Determinare după Soare (lunetă meridiană cu 10 fire fixe)

3. 1920 — Determinare după 10 stele (cronograf precizie 10^{-2} sec., micrometru impersonal cu fir mobil, lunetă meridiană $F =$ = 2,40 m)

3 bis. 1920 — Determinare după 10 stele (cronograf cu peniță, micrometru impersonal cu fir mobil, lunetă meridiană F = =0,75 m reversibilă)

4. 1955 — Determinare după 22 stele (cronograf precizie 10^{-3} sec., micrometru impersonal cu dublă imagine, astrolab 00)

5. 1957 — Determinare după 28 stele (cronograf precizie 10^{-3} sec., micrometru impersonal cu dublă imagine, astrolab OPL 01)

5 bis. — Valoarea corijată a determinării nr. 5.

Scanned with OKEN Scanner

parînd timpul terestru — măsurat cu ajutorul lunetei meridiane — cu timpul celor mai bune orologii existente pe atunci (pendule funcționînd la temperatură și presiune constantă și primele orologii cu cuarț), N. Stoiko a izbutit să scoată în evidență, în 1937, fluctuații sezoniere cvasiperiodice ale rotației Pămîntului, care au drept efect variații de ordinul a 0,002 secunde ale duratei zilei în decursul unui an. Comparația timpului terestru (măsurat cu astrolabul) cu timpul atomic i-a permis, în 1959, lui A. Danjon să evidențieze fluctuații mult mai fine și mai frecvente ale vitezei de rotație a Pămîntului, a căror origine s-ar putea să nu fie de natură gravitațională. Unii astronomi sînt de părere că „marile" fluctuații de tipul celor introduse de Hansen și regăsite de Newcomb ar putea să rezulte din suprapunerea unor fluctuații mai fine și mai frecvente, a căror apariție, semn și grad de intensitate ar fi aleatorii.

Fenomenele pe care le-am descris foarte pe scurt dovedesc că este imposibil să se elaboreze o efemeridă a rotației terestre cu o precizie mai mare de 10^{-7}. Aceasta este precizia-limită pe care putem spera s-o atingem atunci cînd citim timpul pe orologiul numit Pămînt.

Un orologiu cu adevărat teoretic: Soarele

Față de cerințele actuale ale metrologiei, timpul terestru suferă de o lipsă de precizie considerabilă. **Acesta a fost motivul pentru care Comitetul internațional al măsurilor și greutăților a hotărît în 1956 să părăsească vechea definiție a unității de timp, secunda, socotită drept fracțiune egală cu 1/86 400 din durata zilei solare medii** (adică o fracțiune dintr-o durată legată de rotația Pămîntului), pentru a lega această unitate de o durată definită printr-o mișcare orbitală. A fost ales în acest scop anul tropic, adică una din perioadele ce apar în mișcarea de revoluție a baricentrului sistemului Pămînt—Lună în ju-

Scanned with OKEN Scanner

rul Soarelui. Din cauza perturbațiilor planetare pe care le suferă această mișcare, durata ei variază în decursul timpului, astfel că a fost necesar să se stabilească epoca la care este considerat anul tropic ce definește secunda.

Definiția adoptată a fost următoarea: *secunda este o fracțiune egală cu 1/31 556 925, 9747 din durata anului tropic considerat la data de 0 ianuarie 1900, ora 12 a timpului efemeridelor*. Această definiție necesită anumite explicații. În primul rînd, s-ar părea că numitorul fracției cu ajutorul căreia se deduce din anul tropic durata secundei este complicat în mod inutil. Este vorba de fapt de un număr care figurează într-o teorie astronomică și care trebuia păstrat din motive de continuitate. În al doilea rînd, pentru profan nu e clar la ce epocă este definit anul tropic luat drept etalon. Precizăm că definiția se referă la momentul, apropiat de începutul anului tropic 1900, în care longitudinea medie a Soarelui a fost egală cu 279°41'48",04. În calendar, momentul acesta se plasează în ziua de 31 decembrie 1899, în apropierea orei 12 a timpului universal. În noua scară de timp, numită scara timpului efemeridelor, s-a convenit că în acel moment a fost exact ora 12.

În felul acesta, orologiul care marchează timpul efemeridelor este constituit din mișcarea anuală a sistemului Pămînt—Lună în jurul Soarelui, sau prin reciproca ei aparentă, adică prin mișcarea anuală a Soarelui în jurul Pămîntului. În timpul efemeridelor, ora se determină deci prin observarea direcției Soarelui. În realitate însă, această observație este prea imprecisă pentru a constitui un mijloc practic de măsurare a timpului, astfel că ea este înlocuită prin observarea poziției pe orbită a Lunii, fiindcă — așș cum am avut prilejul să arătăm — ora efemeridei Lunii este strîns legată de ora efemeridei Soarelui. Totuși precizia măsurării instantanee continuă să rămînă insuficientă, astfel că noua definiție a secundei, cu toate că satisface pentru moment cerințele noastre teoretice, rămîne oarecum abstractă.

Scanned with OKEN Scanner

Ora atomului

Astronomii se mulțumesc cu timpul efemeridelor definit mai sus fiindcă nevoia lor fundamentală este aceea de a putea data epoca observațiilor lor într-o scară de timp care să se scurgă cît mai uniform posibil și să asigure continuitatea acestei datări la scara universului. Nevoile fizicienilor sînt însă de cu totul altă natură: în general, ei nu fac cronologie, ci cronometrie. Duratele pe care le măsoară fizicienii sînt foarte scurte, iar epocile care limitează aceste durate trebuie să se lege între ele cu o precizie extremă, fără să fie nevoie totuși ca ele să se coreleze cu aceeași precizie la o epocă-origine universală.

Conștiente de aceste nevoi, laboratoarele specializate în măsurări cronometrice fundamentale, precum și observatoarele specializate în măsurarea timpului și-au unit de vreo zece ani încoace eforturile în scopul de a lega secunda din timpul efemeridelor cu perioada radiației corespunzînd unei anumite tranziții proprii a atomului de cesiu 113. Eforturile acestea au dat rezultate. Astăzi definiția secundei nu mai cuprinde nici o referire astronomică: secunda este definită ca durata a 9 192 631 770 perioade ale radiației despre care am vorbit mai sus. Cum eroarea comisă prin racordarea acestei durate la durata secundei din timpul efemeridelor este de numai cîteva perioade, noua secundă este foarte apropiată de secunda efemeridelor, fără să fie însă riguros egală cu aceasta. În consecință, orologiul-atom prezintă față de orologiul-Soare o foarte ușoară abatere pe care astronomii vor trebui s-o urmărească: chiar dacă cronometria le scapă de sub control — cronologia va rămîne întotdeauna domeniul lor de activitate.

Scanned with OKEN Scanner

Orologii atomice sau moleculare

B. CAGNAC

Profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris

Capitolul precedent ne-a arătat dificultăţile pe care le întîmpinăm atunci cînd — depăşind simpla noţiune empirică de timp care se scurge — dorim să definim şi să măsurăm acest timp insubstanţial şi inaccesibil unei percepţii directe. Sîntem obligaţi în acest scop să elaborăm o teorie a mişcării corpurilor (o lege a mecanicii), pentru ca plecînd de la poziţiile observate ale corpurilor să calculăm parametrul teoretic numit timp.

În practică sînt observate de obicei mişcările aştrilor, ale căror mase mari şi distanţe uriaşe fac ca legile acestor mişcări să fie relativ simple şi precise. Am folosit cuvîntul „relativ", fiindcă studiul amănunţit făcut de Delhaye a arătat cît de complexe sînt problemele ce trebuie rezolvate atunci cînd vrem să atingem un anumit grad de precizie.

După cum dovedesc cadranele solare găsite de pe urma celor mai vechi civilizaţii, mişcarea aştrilor a servit încă din cea mai îndepărtată antichitate la definirea tim-

Scanned with OKEN Scanner

pului. Încetul cu încetul s-a făcut însă simțită nevoia de mijloace mai accesibile pentru măsurarea timpului, în special în cazul duratelor scurte. În felul acesta, în jurul anului 1500 î.e.n. au apărut, în templele egiptene, primele orologii bazate pe scurgerea apei. Pînă la sfîrșitul secolului al XIII-lea e.n. orologiul hidraulic a rămas singurul mijloc de măsurare a timpului, folosit în mod general, împreună cu diferite alte instrumente funcționînd pe baza aceluiași principiu (clepsidrele cu apă grecești, cele cu nisip din evul mediu etc.).

La începutul secolului al XIV-lea apare orologiul prevăzut cu un sistem de roți dințate, care folosește pentru reglarea scurgerii apei sau a coborîrii unei greutăți inerția unui balansier, precum și un sistem de eșapament. Prin miniaturizarea acestui procedeu, un lăcătuș din Nürnberg a construit apoi, la începutul secolului al XVI-lea, primul ceasornic portativ cu resort, care este strămoșul ceasurilor noastre de mînă.

Primul progres însemnat în arta construirii orologiilor s-a produs însă la sfîrșitul secolului al XVI-lea în urma observațiilor făcute de Galilei asupra mișcării pendulului. El a constatat că mișcarea periodică a unui pendul ce oscilează liber sub acțiunea gravitației este extrem de regulată. Curînd după aceea oamenilor le-a venit deci ideea de a înlocui în măsurarea timpului observarea mișcării aștrilor (adică a unor perioade de timp foarte lungi) cu observarea mișcării pendulului (adică a unor perioade scurte de timp).

Din cauză că mișcarea unui pendul lăsat în voia lui se amortizează întotdeauna cu mai multă sau mai puțină repeziciune, trebuia găsit un mijloc de a i se furniza regulat energia pe care o pierde treptat prin frecările la care este supus. Perfecționarea sistemului de eșapament cu ancoră a dat posibilitatea de a se transmite pendulului energia unui resort sau a unei greutăți fără ca prin aceasta să i se modifice perioada proprie. În felul acesta s-au născut orologiile cu pendul sau, mai pe scurt, pendulele, care s-au perfecționat atingînd un grad de precizie din ce în ce mai mare. Biroul Internațional al Orei continuă să

Scanned with OKEN Scanner

folosească asemenea pendule, pe care le ține închise în subsolul Observatorului din Paris, la adăpost de perturbațiile exterioare.

Orologii cu cuarț

De vreme ce mișcările periodice ale pendulelor pot înlocui — pentru măsurarea timpului — mișcările periodice ale aștrilor, era îngăduit să se creadă că fizicienii vor descoperi în cadrul fenomenelor naturale și alte mișcări periodice rapide și foarte regulate, care să joace același rol. Într-adevăr, de cîteva zeci de ani se folosesc în acest scop vibrațiile piezoelectrice ale cristalelor de cuarț.

Fenomenul de piezoelectricitate constă în faptul că atunci cînd anumite cristale sînt comprimate, astfel că rețeaua de atomi din care sînt constituite este deformată, se poate întîmpla ca sarcinile electrice pozitive și negative purtate de atomi să nu mai fie repartizate uniform și de aceea să nu-și mai anuleze în mod reciproc efectele. În cazul acesta, cristalul capătă o polaritate electrică, iar între fețele lui apare o diferență de potențial. Fenomenul este reversibil: dacă se aplică o diferență de potențial pe fețele unui cristal, acesta se comprimă sau se dilată.

Fenomenul acesta poate fi reprodus de foarte multe ori pe secundă, obținîndu-se o vibrație mecanică a cristalului, vibrație care are aceeași frecvență ca și tensiunea electrică alternativă aplicată. Pentru anumite frecvențe bine determinate depinzînd de configurația și de dimensiunile geometrice ale cristalului, se stabilește în el un regim de vibrație particular, care dă fenomenului o amplitudine mult mai ridicată: se spune în acest caz că cristalul a intrat în rezonanță. Frecvența de rezonanță a cuarțului este determinată de felul în care este tăiat cristalul. Valorile folosite în mod obișnuit se extind de la cîțiva kilocicli pe secundă pînă la cîteva zeci de megacicli pe secundă[1].

[1] 1 megaciclu = 1 milion de cicli.

Scanned with OKEN Scanner

Din punct de vedere electric cristalul se comportă aproape ca un circuit rezonant compus dintr-un self și o capacitate, de felul celor folosite în mod curent la aparatele de radio. Se poate defini deci pentru un cristal de cuarț (ca și pentru un circuit) un factor de calitate Q,

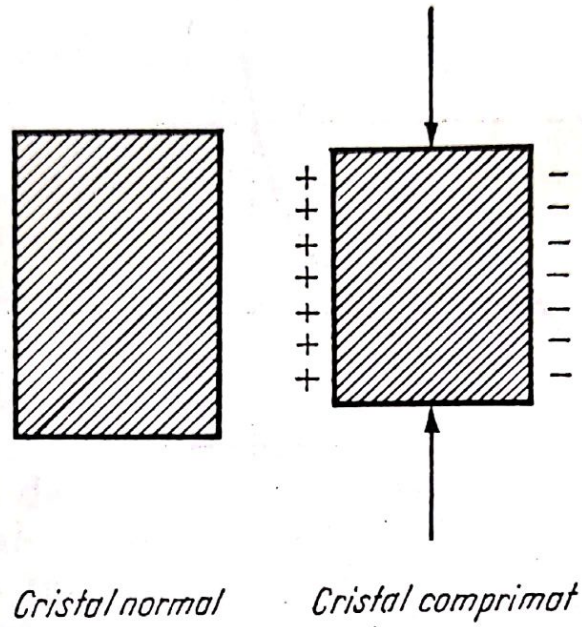
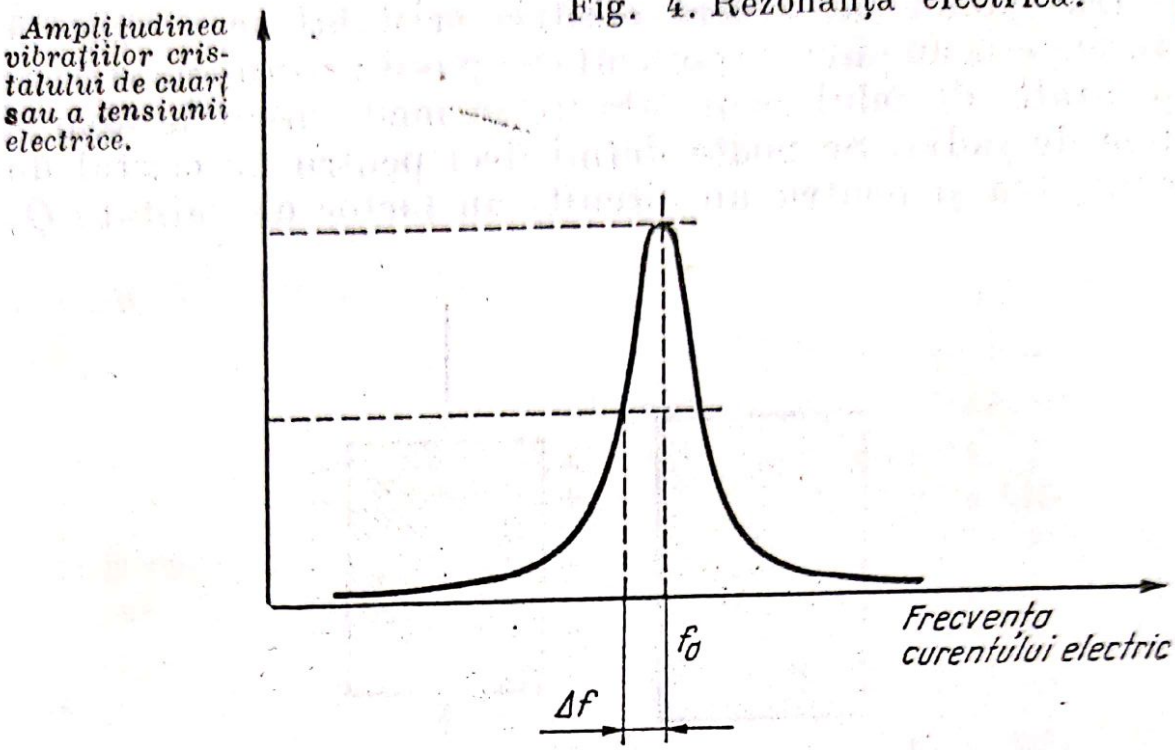


Fig. 3. Piezoelectricitatea cuarțului.

care caracterizează concomitent atît amplitudinea rezonanței în centrul cristalului (la frecvența de rezonanță exactă f_0 se obține o tensiune electrică de Q ori mai mare decît la frecvențe foarte diferite de f_0), cît și finețea ei (adică abaterea Δf față de f_0 a frecvenței pentru care amplitudinea de rezonanță scade aproximativ la jumătate). Se demonstrează că abaterea de frecvență relativă este egală cu inversul coeficientului de calitate ($\Delta f/f_0 = 1/Q$). În vreme ce factorii de calitate obținuți în mod curent la circuitele rezonante clasice nu depășesc ordinul sutelor, cristalele de cuarț cele mai uzuale au un factor de calitate de ordinul 10 000. Se fasonează chiar cristale de cuarț al căror factor de calitate depășește 1 000 000. Este ușor de dedus cîștigul ce poate fi realizat cu ajutorul unor asemenea cristale în ce privește precizia frecvenței.

Cristalul de cuarț formează deci, ca și pendulul, un sistem oscilant avînd o frecvență proprie bine determi-

Fig. 4. Rezonanța electrică.



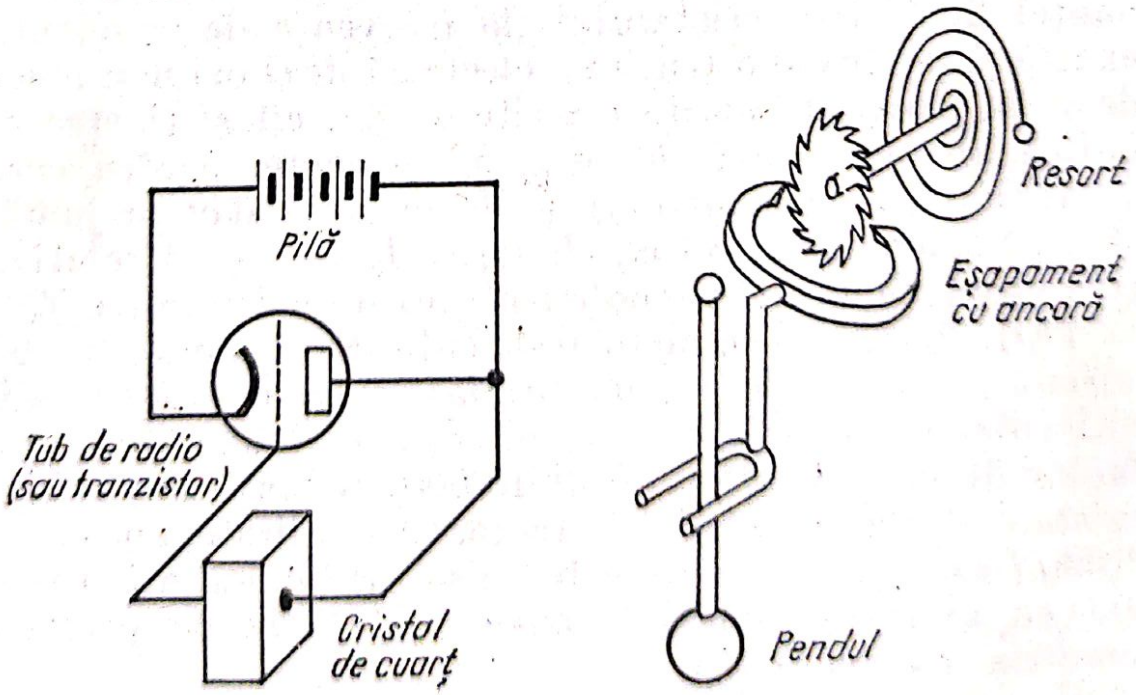


Fig. 5. Orologiul cu cuarț și orologiul cu pendul.

nată. Ca și pendulul, cristalul de cuarț are nevoie de un aport regulat de energie pentru compensarea amortizării. Sursa de energie folosită poate fi o rețea de înaltă tensiune sau o baterie de pile electrice care înlocuiesc resortul sau greutatea orologiilor noastre tradiționale. Transmisiunea energiei se face prin intermediul unui tub radio clasic (sau al unui tranzistor), în circuitul căruia se introduce cristalul de cuarț, care joacă în acest caz același rol ca și eșapamentul cu ancoră al pendulului. Se realizează astfel un oscilator electric de mare stabilitate la care este suficient să se asocieze niște dispozitive de demultiplicare a frecvenței sau niște contoare înregistratoare de perioade pentru a se realiza un orologiu cu cuarț.

Care este precizia ce poate fi atinsă cu un asemenea orologiu?

Trebuie arătat de la început că măsura de precauție esențială ce trebuie luată este aceea de a menține cristalul de cuarț la o temperatură constantă, căci frecvența de rezonanță variază destul de mult cu temperatura (din cauza dilatației termice a cuarțului). Un bun cristal de cuarț, amplasat într-un termostat și intercalat într-un circuit electric uzual, prezintă o stabilitate a frecvenței de ordinul 10^{-5} pînă la 10^{-6}, ceea ce înseamnă că abaterile de frecvență observate nu depășesc a suta mia parte sau o milionime din valoarea frecvenței. *Dacă se face o reglare foarte riguroasă a temperaturii (pînă la o sutime de grad) și se controlează în mod minuțios tensiunea de alimentare și nivelul vibrațiilor, se poate atinge o stabilitate a frecvenței de ordinul 10^{-10} pe durate scurte și de numai 10^{-7} sau 10^{-8} pe durate lungi (stabilitatea este limitată de fenomenul de îmbătrînire a cuarțului).* Aceasta înseamnă că un asemenea orologiu n-ar întîrzia sau n-ar înainta decît cu aproximativ 1 secundă după trecerea unui an de funcționare. Cele mai bune pendule astronomice prezintă însă performanțe ce nu sînt cu mult inferioare ca precizie; de altfel, astronomii n-au început să utilizeze decît de puțină vreme orologii cu cuarț, alături de cele cu pendul.

Scanned with OKEN Scanner

Orologii atomice

Pentru realizarea unui progres cu adevărat important în construcția orologiilor de precizie era nevoie de frecvențe și mai stabile (mai fidele) decît cele ale oscilatoarelor cu cuarț. În aceste oscilatoare se folosesc mișcările atomilor, care se deplasează unii în raport cu alții în interiorul cristalului. Continuăm să avem de-a face deci tot cu fenomene exterioare atomilor. Se știa însă încă de la sfîrșitul secolului trecut, cînd au avut loc marile progrese ale spectroscopiei, că fenomenele interioare ale atomilor și moleculelor fac posibile măsurări de foarte mare precizie și de aceea era firesc ca fizicienii să încerce să le aplice la construcția orologiilor. După ce vom reaminti pe scurt cîteva legi fundamentale ale fenomenelor intraatomice, vom descrie apoi orologiile atomice.

Se știe că atomii diferitelor elemente sînt constituiți dintr-un nucleu central, greu și foarte condensat (dimensiune de ordinul a $10^{-13}...10^{-12}$cm), care poartă o sarcină electrică pozitivă și în jurul căruia gravitează la o distanță relativ mare (de ordinul a 10^{-8} cm) electroni negativi, al căror număr este o caracteristică a fiecărui element (numărul atomic Z). Nucleul atomic este format, la rîndul lui, dintr-un ansamblu complex de particule, a căror structură continuă să pună încă numeroase probleme. (Pentru rezolvarea lor, fizicienii nucleari se văd îndemnați să construiască acele enorme acceleratoare de particule cu nume stranii, ale căror puteri din ce în ce mai mari au devenit una din mizele rivalității științifice dintre S.U.A., U.R.S.S. și țările europene). Dimpotrivă, mișcările electronilor în jurul nucleului sînt cunoscute aproape perfect. Într-o anumită măsură, aceste mișcări sînt analoge mișcării planetelor din sistemul solar în jurul Soarelui, fiindcă li se aplică aceeași lege a forței invers proporționale cu pătratul distanței. Să nu ne lăsăm însă înșelați de această analogie. În timp ce mecanica newtoniană clasică descrie perfect mișcările macroscopice privind un număr mare de atomi și de molecule (cum sînt mișcările pe care le observăm la scara noastră, pe Pămînt, sau mișcările aștrilor), ea nu descrie corect

Scanned with OKEN Scanner

mișcările particulelor elementare. Aceste din urmă mișcări sînt descrise de mecanica cuantică, teorie mult mai abstractă ce elimină complet imaginile senzoriale cu care sîntem obișnuiți.

Nivelele de energie și radiația electromagnetică

În această nouă mecanică un sistem de particule nu se modifică în mod continuu: el nu se poate afla decît în stări discontinue, numărabile cantitativ, înmagazinînd în fiecare din ele o energie W diferită. Teoria ne permite să calculăm diferitele stări posibile, numite nivele de energie ale sistemului. Ca întotdeauna în fizică, stările cele mai stabile sînt cele ce înmagazinează energia cea mai redusă.

Un sistem atomic care ocupă un nivel de energie W_1 poate, în anumite condiții, să efectueze spontan o tranziție pe un alt nivel avînd o energie W_2, mai mică decît W_1, fenomen ce este însoțit de transformarea cuantei de energie astfel eliberate ($\Delta W = W_1 - W_2$) în energie de radiații electromagnetice. Se știe că într-o undă electromagnetică de frecvență f energia este transportată sub formă de cantități finite și indivizibile, avînd valoarea hf, numite fotoni (h este constanta universală a lui Planck $= 6{,}6 \times 10^{-27}$ erg.s). În tranziția atomică ia naștere un foton, iar frecvența f a undei emise este determinată de relația $\Delta W = hf$. Și invers. Dacă se iradiază atomii ce ocupă nivelul de energie W_2 cu o undă de frecvență f, ei pot, absorbind un foton, să treacă din nou, prin tranziție inversă, la nivelul de energie W_1. Cititorii vor găsi în tabelul următor principalele domenii de unde electromagnetice, aranjate după frecvența lor.

Precizia frecvențelor produse sau absorbite în timpul tranzițiilor intraatomice depinde de precizia cu care sînt determinate nivelele de energie. *Energia fiecărui nivel are un domeniu de incertitudine fundamentală, numit lărgime naturală a nivelului, care este legat de durata vieții lui. De cele mai multe ori însă, precizia este*

Scanned with OKEN Scanner

limitată de alte fenomene mai importante. Într-adevăr, nivelele de energie sînt perturbate de acțiunile exterioare ce se exercită asupra atomului: cîmpuri magnetice sau electrice, ciocniri sau vecinătatea altor atomi... Pentru a micșora la maximum aceste acțiuni se lucrează cel mai adesea cu vapori de joasă presiune sau cu fascicule de atomi, evitîndu-se stările lichide și în special cele solide. (În acest din urmă caz, nivelele de energie sînt complet modificate. Studiul lor face obiectul fizicii solidului, disciplină aflată în plină dezvoltare de la ultimul război încoace). Mai există încă un fenomen perturbator important care își are sediul în afara nivelelor de energie. Este vorba de efectul Doppler-Fizeau, datorat mișcărilor termice dezordonate ale atomilor sau moleculelor. Din cauza lui, frecvența undei emise de un sistem aflat în mișcare apare modificată unui observator imobil, și anume cu o abatere relativă egală cu raportul dintre viteza v a sistemului (componenta pe direcția de propagare a undei) și viteza c de propagare a undelor ($\Delta f/f = v/c$).

Totuși aceste cauze diverse de incertitudine rămîn adesea destul de slabe. În numeroase cazuri tranzițiile atomice și moleculare pot fi determinate cu o mare exactitate. O dovadă o constituie faptul că lungimea de undă $\lambda = c/f$, corespunzînd unei tranziții a atomului de criptonă, a fost aleasă acum cîțiva ani drept nou etalon de lungime pentru măsurările de foarte înaltă precizie în locul tradiționalului metru-etalon din pavilionul de la Breteuil. **Dispunem deci de frecvențe foarte stabile — mult mai stabile chiar decît acelea ale cristalului de cuarț — de care avem nevoie pentru a construi cu ajutorul lor orologii.** *Folosirea lor în acest scop pune însă următoarea problemă: în momentul în care suferă tranziția, fiecare atom se comportă ca un oscilator a cărui amortizare este, pentru un timp foarte scurt, totală, fenomen pe care n-avem posibilitatea să-l evităm. Pentru a construi un orologiu avem nevoie însă de un oscilator unic și nu de un număr mare de atomi ale căror efecte să se perturbe unele pe altele. Ceva mai mult, oscilatorul trebuie să funcționeze continuu.*

Această problemă poate să aibă două soluții: orologiile cu cuarț aservit și maserele. Vom dedica fiecăreia din ele cîte un paragraf.

Scanned with OKEN Scanner

Undele electromagnetice

Frecvenţa medie f MHz	Lungimea de undă medie $\lambda = c/f$	Numele special al fiecărui domeniu		Utilizări practice	Tranziţii atomice corespunzînd abaterii energetice $\Delta W = h \cdot f$
0,1	3 000 m	unde hertziene	unde lungi	radiodifuziune	Separarea aceluiaşi nivel în mai multe nivele foarte apropiate, într-un cîmp electric sau magnetic
1,0	300 m		unde medii		
10	30 m		unde scurte		
$3 \cdot 10^2$	1 m		unde metrice	televiziune	Tranziţii între stări de vibraţie sau de rotaţie a moleculelor; sau tranziţii de structură hiperfină a atomilor
10^4	3 cm		unde centimetrice	radar	
10^5	3 mm		unde milimetrice		
$4 \cdot 10^8$	0,75 μ	infraroşu		încălzire prin radiaţie	Tranziţia electronilor exteriori ai atomilor (a electronilor cei mai îndepărtaţi de nucleu, care intervin în legăturile chimice)
între $4 \cdot 10^8$ şi $7{,}5 \cdot 10^8$	între 0,75 μ şi 0,4 μ	lumină vizibilă			
$> 7{,}5 \cdot 10^8$	$<$0,4 μ	ultraviolet		reacţii chimice, radiaţie invizibilă	
$3 \cdot 10^{11}$	10Å	radiaţii X	moi	radiografie medicală; radiografie industrială; radioterapie	Tranziţia electronilor profunzi ai atomilor (cei mai apropiaţi de nucleu şi mai puternic legaţi de el)
10^{12}	0,3Å		medii		
$3 \cdot 10^{14}$	0,01Å		dure		
mai mare	mai mică	radiaţie γ			Transformări interne ale nucleului atomului

Scanned with OKEN Scanner

Orologii cu cuarț aservit

Prima soluție folosește un oscilator cu cuarț, stabilizat cu ajutorul unui dispozitiv care aservește frecvența oscilatorului la frecvența de tranziție atomică. Acesta este principiul pe baza căruia funcționează primul orologiu atomic pus la punct în 1951 de către Lyons în S.U.A. Tranziția folosită este tranziția dipolară electrică a moleculei de amoniac (NH_3) la aproximativ 23 870 MHz. Frecvențele proprii ale cristalelor de cuarț sînt cu mult inferioare acestei valori. Se folosesc însă dispozitive electronice de multiplicare și de adiție a frecvențelor, care permit ca pornind de la frecvența de cîțiva MHz a cristalului de cuarț să se realizeze o frecvență atît de ridicată. Unda emisă de acest nou oscilator de foarte înaltă frecvență (care intră în domeniul undelor radar) este transmisă printr-un ghid de unde umplut cu amoniac gazos. Dacă frecvența ei este suficient de diferită de aceea a tranziției moleculare, unda traversează ghidul în mod normal. Cînd însă frecvența ei este exact egală cu frecvența de tranziție, unda este parțial absorbită de către moleculele de NH_3 de pe nivelul de energie inferior, care trec atunci la nivelul superior. Este suficient ca unda să fie detectată după traversarea ghidului umplut cu amoniac și să se amplifice semnalul de detecție, pentru ca acesta să poată fi folosit la comanda variațiilor unui parametru de care depinde frecvența oscilatorului cu cuarț. Avem de-a face cu o problemă clasică de aservire. Lyons a obținut la acest orologiu cu amoniac o stabilitate certă mai mică de 10^{-3}, valoare care arată că metoda era corectă, fără să fi fost încă îndeajuns de satisfăcătoare.

Există, într-adevăr, o tranziție și mai favorabilă, anume aceea a atomului de cesiu, la 9 192 631 770 MHz. Ea prezintă avantajul că este foarte comodă de utilizat, deoarece intră în domeniul undelor radar, care au o lungime de undă de aproape 3 cm și pentru care sînt disponibile aparaturi fabricate în serie. Această tranziție a fost folosită, pe baza aceluiași principiu general, de către Lyons și de Essen în Anglia. Totuși, dispozitivului precedent i s-a adus o modificare prin înlocuirea vaporilor

Scanned with OKEN Scanner

gazoși cu un fascicul atomic, fapt care prezintă două avantaje:

1) Dacă unda care iradiază atomii se propagă perpendicular pe direcția fasciculului atomic, efectul Doppler este practic anulat.

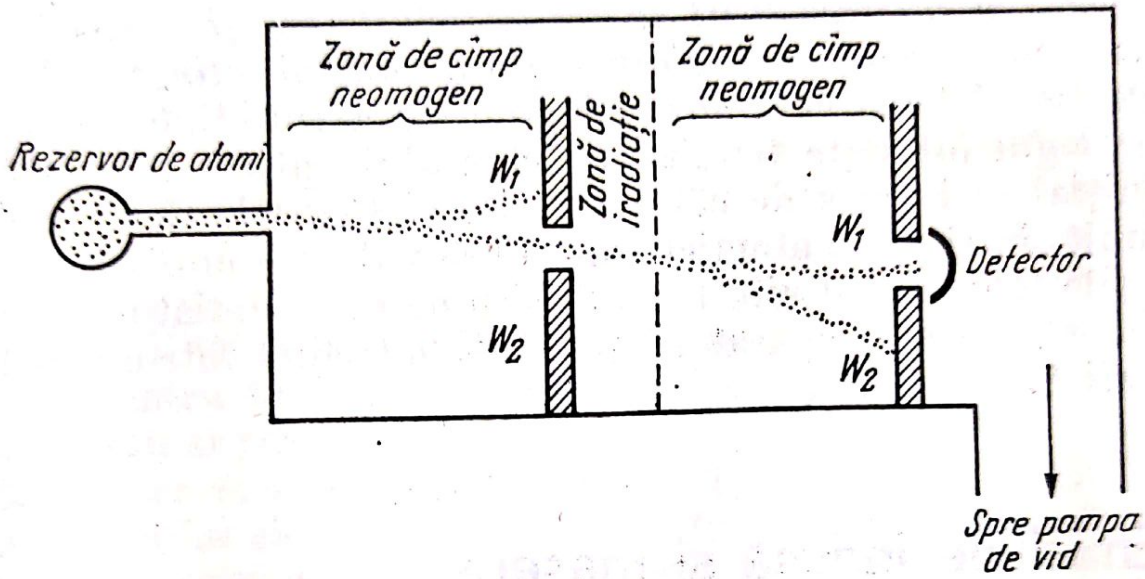


Fig. 6. Metoda fasciculului atomic sau molecular.

2) În loc să se detecteze absorbția, destul de slabă, a undei de către vapori, se detectează, la extremitatea fasciculului, atomii care au suferit tranziția sub acțiunea de iradiere a undei, folosindu-se metoda mult mai sensibilă, realizată în S.U.A. încă dinainte de război de către Rabi. Metoda este următoarea: înainte de iradiere, atomii fasciculului traversează un cîmp magnetic foarte neomogen, care face să devieze sub unghiuri diferite atomii nivelelor de energie W_1 și W_2, atomi ale căror momente magnetice sînt diferite. După ce traiectoriile celor două tipuri de atomi sînt separate, atomii nivelului W_1 pot fi blocați, astfel că își continuă drumul numai atomii de pe nivelul W_2. După trecerea prin zona de iradiere, fasciculul traversează un alt cîmp neomogen, care nu lasă să treacă decît atomii nivelului W_1. La ieșirea fasciculului nu se detectează deci nici un atom, afară de cazul cînd iradierea cu frecvența adevărată n-a provocat tranziții de la W_2 la W_1.

Se obține astfel, în cazul cesiului, o frecvență avînd o precizie de aproximativ 10^{-9}. De cîțiva ani se fabrică în serie și se vinde pe cale comercială în S.U.A., sub numele de *atomichron*, un orologiu care funcționează pe baza acestui principiu.

Atomichronul poate fi însă considerat ca depășit, fiindcă a fost construit la scară industrială și comercializat un orologiu cu rubidiu a cărui precizie atinge 10^{-10}. Pentru detectarea tranziției atomice a rubidiului noul orologiu folosește tehnica „pompajului optic", realizată inițial în Franța de către Kastler și Brossel. Ceva mai mult, în timp ce atomichronul avea volumul unui dulap, noile tehnici folosite precum și progresul miniaturizării fac ca ultimul aparat să poată fi introdus într-o mică valiză.

Emisiune indusă și masere

Cea de-a doua soluție a problemei orologiilor atomice constă în utilizarea principiului maserului (amplificator de unde radio ultrascurte prin emisiune indusă de radiație) pus la punct în 1955, în S.U.A., de către Townes[1]. Pentru a-i înțelege principiul, trebuie să analizăm mai îndeaproape interacțiunea dintre radiație și materie. Se disting de fapt două moduri de emisiune a fotonilor:

1) *Emisiunea spontană* — despre care am vorbit mai sus — este legată de viața nivelului superior de energie W_1. Atomul nu poate ocupa acest nivel decît un anumit timp ce variază în mod aleatoriu de la un atom la altul (și a cărui medie este prin definiție viața nivelului). După scurgerea acestui timp, atomul efectuează spontan tranziția la nivelul inferior W_2. Diverșii fotoni emiși în cadrul acestui proces în momente cu totul aleatorii n-au nici o legătură între ei: n-avem de-a face cu emisiunea

[1] Pentru descoperirea laserelor și maserelor, făcută concomitent de Townes (S.U.A.) și de N.G. Basov și A.M. Prohorov (U.R.S.S.), celor trei oameni de știință li s-a decernat Premiul Nobel pentru fizică *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

unei unde unice, ci cu suprapunerea și succesiunea unor trenuri scurte de unde, defazate între ele cu valori aleatorii.

2. *Emisiunea indusă* se produce atunci cînd atomii sînt iradiați cu o undă a cărei frecvență corespunde frecvenței de tranziție a atomilor. Am arătat mai sus că în aceste condiții atomii de pe nivelul de energie inferior W_2 pot efectua o tranziție, indusă de către undă, care îi ridică la nivelul superior W_1 cu absorbția unui foton. Unda poate induce însă și tranziția inversă, coborînd atomul de la nivelul W_1 la W_2 prin emiterea unui foton suplimentar. Emisiunea indusă a fotonului se produce cu tot atîta ușurință ca și absorbția lui, ceea ce înseamnă că probabilitatea efectuării unei tranziții induse este aceeași pentru toți atomii, indiferent dacă sînt la nivel inferior sau superior.

Emisiunea și absorbția sînt proporționale cu intensitatea cîmpului electromagnetic inductor. Dacă la început fiecare din cele două nivele de energie ar fi ocupate de către același număr de atomi, numărul fotonilor emiși ar fi egal cu acela al fotonilor absorbiți, astfel că bilanțul energetic ar fi nul. În interiorul unui ansamblu de atomi aflați în echilibru cu temperatura ambiantă există însă un număr mai mare de atomi la nivelul de energie inferior decît la nivelul superior (repartiția lor corespunzînd legii lui Boltzmann), astfel că numărul fotonilor absorbiți va fi mai mare decît acela al fotonilor emiși. Acest fenomen explică de ce la orologiul cu amoniac al lui Lyons se observă o ușoară absorbție a undei de către vapori. Dimpotrivă, dacă am putea face ca printr-un procedeu oarecare să avem mai mulți atomi la nivelul superior, numărul fotonilor emiși va fi mai mare decît acela al fotonilor absorbiți, astfel că energia undei va fi mărită.

De altfel, fotonul indus are proprietatea foarte importantă de a fi identic fotonului inductor, ceea ce înseamnă că trenul de unde indus oscilează în fază cu trenul de unde inductor și se propagă în același sens. Cu alte cuvinte, oscilatorul atomic care emite un foton indus este coerent cu oscilatorul atomic care a emis mai întîi fotonul in-

Scanned with OKEN Scanner

ductor. Dacă nu s-ar produce tranziții spontane, ci numai tranziții induse, toți oscilatorii atomici ar fi deci coerenți între ei, astfel că s-ar influența rînd pe rînd unii pe alții, continuînd, fără ruptură de fază, aceeași succesiune de oscilații. Cu toate că ne-am afla în acest caz în prezența unui număr mare de oscilatori și că fiecare oscilator individual s-ar amortiza foarte repede, totuși ansamblul lor ar echivala cu un oscilator unic ce ar funcționa în mod continuu. Este ușor de dedus avantajul pe care-l prezintă utilizarea acestui fenomen prin crearea unor condiții în care tranzițiile induse să fie mult mai numeroase decît tranzițiile spontane, lucru deosebit de ușor de realizat în domeniul undelor radio.

Maserele, construite acum în mod curent, funcționează în domeniul undelor centimetrice și milimetrice (unde radar), la care se folosește tehnica ghidurilor de undă. Ghidul prin care se propagă unda ce urmează să fie amplificată (și care are frecvența tranziției atomice alese) debușează într-o cavitate rezonantă acordată la această frecvență, adică într-o cutie metalică închisă, ai cărei pereți reflectă perfect undele și ale cărei dimensiuni geometrice sînt astfel alese încît toate undele reflectate avînd lungimea de undă aleasă să-și suprapună efectele și să creeze în interiorul cavității un cîmp electromagnetic de foarte mare amplitudine (fenomenul undelor staționare).

Cavitatea aceasta joacă un rol asemănător aceluia al circuitului rezonant clasic compus din self și capacitate: amplitudinea tensiunii electrice și a cîmpului electromagnetic crește în raport cu factorul de calitate Q (fără să se realizeze însă o amplificare în sensul tehnic dat de obicei acestui termen, fiindcă energia electrică se află înmagazinată în cavitate, astfel că utilizatorul nu beneficiază de vreo creștere a puterii electrice disponibile). Factorul de calitate al acestui fel de cavități poate atinge valori de cîteva mii, ba chiar de sute de mii. Cavitatea dă astfel posibilitatea ca plecînd de la unda incidentă să se obțină un cîmp electromagnetic suficient de intens ca să provoace la atomii din interiorul cavității un număr mare de emisiuni induse (mult mai mare decît acel al emisiunilor spontane).

Scanned with OKEN Scanner

Concomitent, se folosește un dispozitiv care permite să se obțină în cavitate o majoritate foarte pronunțată de atomi la nivelul de energie superior, astfel ca absorbțiile de fotoni să fie în număr neglijabil. Fotonii emisiunii induse, care sînt în fază cu unda inițială și în număr proporțional cu intensitatea ei, produc o adevărată amplificare a undei, adică măresc puterea disponibilă. Un al doilea ghid, conectat la cavitate, permite extracția undei amplificate.

Amplificatoarele de acest fel încep să aibă numeroase aplicații, atît din cauza selectivității lor în ceea ce privește frecvența, cît și datorită slabului lor zgomot de fond. *Aplicarea lor la orologii se datorește marii selectivități ce rezultă de pe urma tranzițiilor atomice.* În acest scop este suficient ca amplificatorul să fie transformat în oscilator. Este vorba de o operație clasică, și oricine s-a ocupat cît de cît cu electronica știe ce grijă trebuie depusă la construirea unui amplificator cu coeficient de amplificare mare pentru a-l face să nu „acroșeze" și să nu înceapă să oscileze singur datorită faptului că o fracțiune din tensiunea electrică obținută la ieșirea lui este injectată din nou la intrare prin inducție parazită. Este suficient deci ca maserul să amplifice într-o măsură suficientă pentru ca să „acroșeze" și să înceapă să oscileze spontan cu frecvența pentru care coeficientul lui de amplificare este maxim, adică cu o frecvență exact egală cu aceea a tranziției atomice, pentru ca să avem un orologiu atomic în funcțiune.

Primul maser construit de Townes folosea aceeași tranziție dipolară electrică a moleculei de amoniac gazos (cu o frecvență de aproximativ 23 870 MHz) ce fusese utilizată la primul orologiu cu cuarț aservit al lui Lyons. Pentru trierea moleculelor după starea lor de energie, Townes aplică metoda fasciculului atomic a lui Rabi, despre care am vorbit mai sus, cu deosebirea că — tranziția fiind în acest caz dipolară electrică, iar cele două stări diferind prin momentul lor electric — folosește, pentru devierea moleculelor de NH_3, în locul gradientului de cîmp magnetic utilizat la atomii de cesiu, un gradient de cîmp electric. În felul acesta, de la extremi-

Scanned with OKEN Scanner

tatea fasciculului pot pătrunde în cavitate numai atomii cu nivelul de energie cel mai ridicat.

După ce și-a construit maserul, Townes nu dispunea pentru verificarea stabilității lui de nici un alt oscilator cu o precizie comparabilă. De aceea a fost obligat să construiască un al doilea maser, similar cu primul. *Făcîndu-le să „bată" împreună, a constatat că frecvența lor rămînea stabilă cu o aproximație de 10^{-10} timp de cîteva ore.* Una din cauzele esențiale care limitează stabilitatea frecvenței maserelor este antrenarea frecvenței de către cavitate: dacă frecvența de acord a cavității rezonante diferă într-o oarecare măsură de frecvența tranziției atomice, atunci frecvența undei care se formează în cavitate este și ea ușor diferită de frecvența tranziției. Desigur că această abatere este mult mai mică decît diferența de frecvență care o provoacă, dar nu e neglijabilă. De aceea este extrem de greu să se stabilizeze cavitatea cu o precizie suficient de mare. Nu vom mai insista asupra factorilor care limitează stabilitatea acestor oscilatoare și cu care fizicienii continuă să lupte pentru a ameliora performanțele aparatelor.

Mai există și multe alte tranziții atomice ce pot fi folosite la construcția maserelor. De asemenea, în loc ca atomii să fie triați după energia lor prin metoda fasciculului atomic, pot fi folosite procedee de trecere a majorității atomilor la nivelul de energie superior cu ajutorul rezonanței magnetice în impulsie, al maserelor cu trei nivele, al pompajului optic etc. Nu avem posibilitatea să descriem aici toate cercetările ce continuă să fie făcute în legătură cu maserele. Vom semnala doar tehnica laserelor (amplificatoare de unde electromagnetice din domeniul luminii vizibile prin emisiune indusă a radiației), ale căror principii de funcționare se aseamănă cu acelea ale maserelor. Laserele nu furnizează unde radio, ci unde electromagnetice vizibile; între aceste două domenii nu există de altminteri o frontieră bine precizată.

La ora actuală, aceste două tipuri de aparate sînt încă în plină dezvoltare. Cercetările sînt extinse spre aplicații extrem de variate și este greu de spus unde se va putea ajunge *(se vorbește de precizii de ordinul* 10^{-12} *sau* 10^{-13} *)*. În ceea ce privește aplicarea acestor principii la construcția orologiilor, se pune întrebarea dacă ele vor

Scanned with OKEN Scanner

duce la vreo perfecționare importantă care să întreacă orologiile cu cuarț aservit. Deși progresul acesta este posibil, totuși el nu va fi realizat fără dificultăți dacă ne gîndim la performanțele atinse deja de aceste din urmă aparate. Nu trebuie să uităm că încă de pe acum se pot construi orologii avînd o precizie de 10^{-10}, ceea ce înseamnă că ar înainta sau întîrzia numai cu o secundă după cîteva secole de funcționare. Este de asemenea posibil ca în curînd fizicienii să reușească să măsoare timpul mai precis decît astronomii și ca unitatea de timp să fie definită pe baza unei mărimi atomice așa cum se întîmplă acum cu unitatea de lungime.

Poate că unii dintre cititori se vor mira că fizica modernă contribuie la construcția orologiilor moleculare și atomice, în timp ce tot ea ne arată că la scara particulelor elementare noțiunea de timp se modifică (a se vedea capitolul lui R. Lennuier). De fapt, în aceasta nu este însă nici o contradicție, deoarece la măsurarea timpului se folosește un număr foarte mare de particule, astfel că ceea ce observăm nu reprezintă decît proprietățile statistice ale acestora.

Scanned with OKEN Scanner

Distribuţia timpului

B. DECAUX
Membru al Institutului Franţei

Determinarea şi conservarea timpului nu constituie un scop în sine şi nu prezintă interes decît cu condiţia ca ele să poată fi folosite în nenumăratele aplicaţii practice.

Deşi unele din aceste aplicaţii se pot desfăşura în imediata apropiere a orologiilor, totuşi, în general, lucrurile nu se petrec aşa, astfel că timpul măsurat trebuie transportat la distanţe mai mici sau mai mari. Ceva mai mult, în zilele noastre, timpul trebuie distribuit şi difuzat astfel încît să fie la dispoziţia tuturor.

Vom reaminti doar cîteva din aplicaţiile măsurării timpului în care rolul esenţial este jucat de distribuţia lui. Pe primul loc se situează determinarea longitudinilor, care implică cunoaşterea în orice punct de pe glob a orei meridianului de origine. „Facerea punctului" comportă determinarea longitudinii, iar metodele moderne de radionavigaţie dau posibilitatea ca un punct necunoscut să fie reperat în raport cu două puncte cunoscute numai cu ajutorul măsurării timpului de propagare a undelor. Totodată cercetările spaţiale impun o sincro-

Scanned with OKEN Scanner

nizare riguroasă a observațiilor făcute în locuri diferite. Trebuie citate în fine nenumăratele aplicații ale măsurării precise a timpului sau a frecvenței în tehnicile cele mai diferite, ca radarul, comunicațiile la distanțe mari, navigația, ghidajul, calculul electronic etc., care se bazează toate, în fond, într-o măsură mai mică sau mai mare, pe transmisiunea timpului. Mai pot fi amintite, de asemenea, și fenomenele vieții de toate zilele, ca, de exemplu, exploatarea mijloacelor de transport, care impun ca toate orologiile unei rețele să marcheze aceeași oră, bineînțeles cu o precizie mai redusă. **Nu poate exista transmisie de informații fără un control precis al timpului și al frecvențelor, lucru ce explică rolul esențial pe care-l joacă măsurarea duratelor în fizica modernă.**

Metodele de difuzare a orei sau de transport al timpului la distanță sînt tot atît de variate ca și aplicațiile lor și se adaptează diferitelor ordine de precizie necesare. Pentru anumite dispozitive de înaltă tehnicitate, precizia trebuie evaluată în microsecunde. În ceea ce privește distanțele, care s-au limitat multă vreme la cei 20 000 km determinați de sfericitatea Pămîntului, ne-am obișnuit ca acum, în era spațială, să le măsurăm în milioane de kilometri.

Metoda cea mai veche de transport al timpului a fost aceea a transportului material al unui aparat de măsură. Vreme de multe secole, clepsidra cu nisip și apoi cronometrul navigatorilor au fost singurele instrumente folosite în acest scop. Ele nu aveau însă decît o utilizare localizată, astfel că adevărata distribuție a orei către un număr nelimitat de utilizatori n-a devenit posibilă decît după inventarea comunicațiilor electrice. Problema acestei distribuții constă din transmiterea, prin fir sau fără fir, a unor „semnale orare“ care să servească la reperarea unor momente convenite. Un alt mijloc este acela de a se comanda de la distanță poziția unghiulară a acelor unui orologiu. Prin aceste procedee se realizează transmiterea la distanță a stării unui cronometru, adică a orei pe care o arată.

Adesea este însă mai simplu și mai precis să nu se transmită decît mersul (sau viteza) unui cronometru, a cărui stare este dedusă prin integrarea timpului socotit de la

Scanned with OKEN Scanner

un moment de origine (care trebuie bineînțeles transportat printr-un mijloc oarecare). Pe baza acestui principiu funcționează, de exemplu, orologiile la care avansarea acelor se face pas cu pas.

Principiul transmisiei mersului a cunoscut un avînt considerabil începînd din ziua în care tehnica a putut să dispună de curenți alternativi cu o frecvență foarte stabilă. Transmisia acestor curenți prin fir sau prin radio a rezolvat problema cu o simplicitate și cu o precizie remarcabile.

Cîteva moduri de transmisie

După ce am schițat în linii mari metodele posibile de transport sau de difuzare a timpului, să vedem acum în ce mod au putut fi ele aplicate în sistemele reale exploatate.

Transportul orologiilor. Precizia cronometrului cu arc spiral, instrument care a atins un înalt grad de perfecțiune, nu mai poate fi ameliorată decît într-o măsură redusă. Modernizarea acestui venerabil strămoș a fost făcută prin întreținerea cu ajutorul tranzistoarelor a oscilațiilor (ca de exemplu la cronostatul Leroy) sau prin înlocuirea arcului spiral cu un diapazon miniaturizat (ca la accutronul Bulova). Au fost realizate cronometre cu cuarț de dimensiuni foarte mici, a căror folosire a început să se răspîndească în marină. Etaloanele atomice au fost obiectul a nenumărate experiențe de transport în stare de funcționare. Unele din ele, de exemplu, au fost transportate cu avionul de mai multe ori în jurul Pămîntului fără să prezinte abateri mai mari de cîteva microsecunde. Aproape pretutindeni se construiesc modele „portabile", unele cu fascicul atomic și altele cu pompaj optic. În prezent, acesta este mijlocul cel mai precis pentru punerea de acord a orologiilor amplasate în țări diferite.

Scanned with OKEN Scanner

Transmisia prin fir. Au trecut peste 100 de ani de cînd căile ferate au început să folosească propria lor rețea telegrafică pentru a transmite stațiilor din provincie ora Parisului.

Unele orașe posedă încă de multă vreme orologii publice reglate de la distanță. La Paris și Besançon, de exemplu, observatoarele locale fac o distribuție precisă a orei.

Punerea în serviciu, acum vreo treizeci de ani, a orologiului vorbitor de la Observatorul din Paris a marcat o nouă etapă în distribuția orei, permițînd transmiterea ei cu o precizie excepțională către orice abonat al telefoanelor[1]. În prezent, impulsurile acestor orologii au o precizie de cîteva miimi de secundă, constituind astfel un excelent cronometru la domiciliu. Uneori orologiile de acest fel pun probleme suplimentare; în Elveția, de exemplu, orologiul „vorbește" succesiv în două limbi diferite.

Așa cum am arătat mai sus, în anumite cazuri nu se transmit semnale de timp, ci un curent cu frecvență stabilă și bine precizată. Curentul antrenează un motor sincron care — după ce orologiul a fost reglat la ora exactă — continuă să o arate atîta vreme cît nu se produce o întrerupere a curentului (sau un timp indefinit, dacă există un mijloc de rezervă pentru întreținerea mișcării). Acum cînd rețeaua de distribuție a energiei electrice este perfect reglată în frecvență (la 50 Hz), orologiile sincrone conectate la această rețea funcționează foarte precis. Există, de asemenea, distribuții de timp pe bază de curenți speciali cu frecvență-etalon. În regiunea pariziană, de exemplu, Centrul național de studii pentru telecomunicații difuzează prin linii telefonice speciale un curent de 1 000 Hz, care are o precizie de o miliardime.

Transmisia prin radio. Radiocomunicațiile au adus bineînțeles soluții remarcabile în problema difuzării orei ca și, de altminteri, în întregul domeniu al informațiilor. Într-adevăr, ele dau, tuturor celor ce doresc, posibilitatea de a recepționa o emisiune centralizată de

[1] „Orologiul vorbitor" (telefonic) funcționează și la București *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

distribuție a timpului, comandată de un cronometru. Diferitele metode adoptate pentru distribuția prin fir au fost transpuse în domeniul radioelectric, care, la rîndul lui, a făcut posibilă folosirea unor procedee și mai precise.

Deși semnalele orare radiotelegrafice fuseseră experimentate și ceva mai înainte, emisiunea lor regulată de către Turnul Eiffel a început în 1910. De atunci încoace, aceste emisiuni s-au dezvoltat într-un mod uimitor, astfel că la ora actuală numărul stațiunilor emițătoare de semnale orare, existente pe glob, a ajuns la cîteva sute. Majoritatea emisiunilor sînt intermitente și la ore fixe, în timp ce altele sînt făcute în permanență de către stațiuni specializate. Este folosit întregul spectru de frecvențe. Undele cele mai des folosite sînt cele decametrice și kilometrice. Totuși cîteva stațiuni speciale de mare putere folosesc undele miriametrice[1]. Fiecare emisiune este măsurată de către observatoare, care publică apoi corecțiile ce trebuie aduse orei astfel recepționate, pentru ca să se obțină valoarea ei exactă. Într-adevăr, momentul în care cei interesați primesc semnalul orar nu este — riguros vorbind — momentul comandat de orologiul distribuitor. În aparatura de emisiune se produc diferite întîrzieri care pot fi eliminate cu ajutorul corecțiilor amintite. Întîrzieri ce pot fi determinate se produc, de asemenea, și în aparatura de recepție. Întîrzierea cea mai importantă este aceea datorată timpului de propagare a undelor, caz în care factorii cei mai importanți ce trebuie luați în considerare sînt distanța și precizia cerută. Factorii aceștia pot fi calculați ținînd seama de viteza undelor și de traseul lor, lucru care nu este întotdeauna ușor de făcut. În condiții favorabile, ora sosirii semnalelor orare poate fi măsurată acum cu o aproximație de o sutime de miime de secundă. Tot în condiții favorabile, ora plecării lor poate fi reconstituită la distanță cu o aproximație de o miime de secundă.

Pentru marele public, metoda cea mai practică de transmisie a orei este cea făcută cu ajutorul orologiului vorbitor de către posturile de radiodifuziune, care este mai

[1] De ordinul zecilor de mii de metri *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

precisă decît anumite lovituri de gong locale. Mai poate fi citată și posibilitatea de a se corecta prin radio mersul unor orologii autonome.

În cazul utilizărilor tehnice sau științifice (cercetări de laborator, navigație, geodezie, astronomie etc.), precizia joacă un rol esențial. Pentru realizarea ei au fost puse la punct metode noi.

Trebuie citată în primul rînd rețeaua mondială de stațiuni numite „de frecvență-etalon și de semnale orare". Aceste stațiuni — vreo cincisprezece la număr — emit de obicei, în permanență, pe frecvențe perfect reglate și cunoscute (2,5 MHz, 5 MHz și multiplii lor), modulații audibile (care servesc la rîndul lor de etalon), precum și semnale orare de formă specială și de o foarte înaltă calitate. Stabilitatea lor excepțională și marea sensibilitate a instalațiilor receptoare au dat posibilitatea să se scoată în evidență perturbațiile pe care le suferă, prin propagarea undelor, valoarea frecvenței recepționate și care sînt datorate efectului Doppler produs de mișcările ionosferei[1]. Aceste perturbații pot atinge, în valoare relativă, cîteva zecimi de milionimi, astfel că trebuie să se țină seama de ele. Ceva mai mult, s-a constatat că condițiile de propagare a undelor decametrice nu sînt întotdeauna favorabile, în special în regiunile polare.

Pentru evitarea acestor dificultăți, s-a recurs la organizarea de emisiuni de frecvențe-etalon pe unde kilometrice și chiar miriametrice. La aceste din urmă unde, efectul Doppler nu mai are decît o sutime din valoarea constatată la undele decametrice, deși, dacă se ține seama de precizia foarte ridicată spre care se tinde, acest efect nu poate fi considerat nici în acest caz drept neglijabil. Propagarea acestor unde este foarte regulată și — dacă paraziții atmosferici nu sînt prea puternici — raza de acțiune a posturilor emițătoare poate atinge valori foarte mari. Undele kilometrice dau o precizie mai mare decît undele miriametrice; la ele efectul Doppler este neglijabil.

[1] Este vorba despre mișcările turbulente ale plasmei din zonele apropiate de suprafața Pămîntului *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

Existența acestor noi emisiuni a permis să se utilizeze măsurarea fazei lor pentru atingerea unei precizii extrem de ridicate. Într-adevăr, metodele actuale dau în majoritatea cazurilor posibilitatea ca, fie prin observarea fazei pe ecranul unui oscilograf cu raze catodice, fie prin înregistrarea automată a fazei cu ajutorul unor servomecanisme, să se calculeze momentul recepției cu o aproximație mai mică de o microsecundă. Aceasta nu reprezintă însă precizia cu care se obține la distanță ora transmisă, căci durata reală necesară undelor pentru a parcurge traseul este încă puțin cunoscută. Traseul acesta depinde de condițiile de propagare. Pentru undele miriametrice, de exemplu, durata de propagare variază între zi și noapte cu valori care — începînd de la 2 500 pînă la 3 000 km — cresc cu circa 10 microsecunde pe o mie de kilometri distanță. La undele kilometrice, în schimb, se poate considera că într-o rază de 2 000 km nu se produce între zi și noapte nici o variație demnă de luat în considerare.

Cu toate acestea, din punct de vedere relativ și ținînd seama de perioadele recunoscute ca favorabile, mersul unui cronometru poate fi urmărit cu o precizie foarte mare. Măsurătorile au dovedit că media lunară a erorilor experimentale nu este decît de cîteva sutimi de miliardimi în raport cu frecvența determinată prin alunecarea fazei în 24 de ore. Compararea prin acest mijloc a etaloanelor atomice arată că precizia finală, tot față de mediile lunare, este de același ordin.

Prin asemenea procedee cronometrele pot fi comparate la distanțe mari cu precizia extremă cerută în prezent, iar orologiile cu cuarț pot fi reglate automat. Acestea sînt modalitățile prin care etaloanele atomice ale diferitelor țări sînt comparate permanent între ele, pentru ca apoi, prin medierea frecvențelor găsite, să se ajungă la valoarea „timpului atomic".

Studiile făcute asupra undelor foarte lungi au stabilit precizia ce poate fi atinsă în folosirea lor din punct de vedere al fazei și al duratei de parcurgere a traseului. Faptul acesta are o importanță considerabilă în special pentru radionavigație. Cea mai mare parte a procedeelor actuale se bazează pe măsurarea timpului de propagare

Scanned with OKEN Scanner

a undei emise de un emiţător cunoscut sau, mai adesea, pe măsurarea diferenţei dintre timpii de propagare ai undelor provenind de la mai multe emiţătoare. Precizia cu care este determinată poziţia depinde de fapt de precizia cu care este măsurat timpul şi de cunoaşterea duratei de parcurgere a traseului. Este uşor de înţeles de ce la ora actuală problemele acestea capătă o importanţă considerabil de mare.

Progresele în domeniul vehiculelor spaţiale au făcut ca datorită noilor condiţii de propagare şi distanţelor excepţional de mari interesul pentru procedeele de radionavigaţie să crească. Ceva mai mult, observarea şi teleghidarea acestor vehicule ultrarapide prin procedee optice sau radioelectrice necesită o sincronizare riguroasă a diferitelor posturi care participă la operaţii.

La sol, de exemplu, sistemele speciale de transmisiune a timpului, lucrînd în general cu raze de acţiune succesive reduse şi cu unde convenabil alese, ating precizii superioare microsecundei (de exemplu sistemul Loran C). Acelaşi lucru se poate spune despre anumiţi sateliţi artificiali speciali (de tip Tranzit). De asemenea, prin intermediul sateliţilor au putut fi comparate direct, cu aceeaşi precizie, orologii situate de o parte şi de alta a Atlanticului şi a Pacificului.

Exploatarea şi compararea semnalelor orare

Este greu să ne dăm seama de amploarea folosirii semnalelor orare: nu avem nici un mijloc de a stabili statistica numerică generală a semnalelor emise. Statistica ne poate arăta însă importanţa acestor operaţii într-un caz particular; numărul semnalelor emise în cadrul Anului geofizic internaţional 1957—1958 a fost de aproape un milion. Pentru ca semnalele orare să fie folosite cu o precizie înaltă, este nevoie ca un organism internaţional să centralizeze măsurătorile făcute asupra diferitelor emisiuni şi să publice corecţiile corespunzătoare.

Scanned with OKEN Scanner

Acesta este rolul Biroului internațional al orei (B.I.H.), cu sediul la Observatorul din Paris. B.I.H. înregistrează și măsoară aproximativ 50 000 de semnale orare pe an. Din rezultatele acestor măsurători, B.I.H. deduce, de asemenea, date importante asupra rotației Pămîntului, propagării undelor etc.

Măsurătorile de foarte înaltă precizie făcute asupra emisiunilor cu frecvențe-etalon, în special asupra undelor miriametrice, sînt operații de o amploare atît de mare încît necesită sprijinul unor organizații internaționale care stimulează colaborările și codifică metodele de observare sau de exploatare. Am subliniat mai sus rolul pe care-l joacă Biroul internațional al orei în domeniul semnalelor orare. Alte organisme care intervin și ele în acest sector sînt: Comitetul internațional al măsurilor și greutăților, Uniunea radioștiințifică internațională, Uniunea astronomică internațională și Comitetul consultativ internațional al radiocomunicațiilor.

Viitorul

Gradele de precizie necesare în viitor pentru aplicațiile științifice și tehnice vor fi și mai mari ca acum. Microsecunda, obiectivul principal al cercetărilor actuale, va fi realizată curînd în mod uzual, pentru ca apoi să devină insuficientă. În consecință, vor trebui realizate procedee noi, poate complet diferite de cele pe care le cunoaștem astăzi.

În ceea ce privește distribuția orei pentru viața de toate zilele, pot fi semnalate pentru exemplificare anumite cercetări aflate în curs și care ar putea să apară fanteziste la prima vedere: este vorba de un ceas de mînă vorbitor care va recepționa prin radio emisiunile orologiului vorbitor, înlocuind micul nostru cronometru tradițional... Microminiaturizarea circuitelor electronice va face ca acest tur de forță să devină perfect realizabil din punct de vedere tehnic. S-ar putea imagina însă și

Scanned with OKEN Scanner

un ceasornic ale cărui arătătoare s-ar plasa fără zgomot și la comandă în poziția transmisă de un emițător central. Imaginația și iscusința tehnicienilor au în fața lor un cîmp larg deschis.

În rezumat, se poate spune că există mai multe sisteme de transmisie a semnalelor orare și că compararea rezultatelor este o muncă de imensă importanță. **Dificultatea esențială este provocată de determinarea traseului și a timpului în care semnalul îl parcurge** *(cu o viteză întotdeauna limitată)*.

Scanned with OKEN Scanner

Vîrsta corpurilor cereşti

M. HENON
Şef de cercetări la C.N.R.S.

Omul şi-a pus dintotdeauna întrebări asupra originii corpurilor cereşti: cum s-au format şi de cîtă vreme există? Progresele astronomiei teoretice ne oferă astăzi posibilitatea să dăm acestor întrebări un început de răspuns. Deosebit de interesant ar fi să trecem în revistă evaluările actuale ale vîrstei acestor corpuri. Totuşi, fiindcă o vîrstă nu poate fi calculată decît dacă am definit „momentul zero" al existenţei obiectului, este necesar să ne facem mai întîi o idee despre procesul de formare al obiectului şi despre semnificaţia dată acestui moment privilegiat. Problema este foarte delicată şi nu va fi abordată aici, deoarece depăşeşte tema lucrării de faţă. Ea ţine mai degrabă de cosmologie[1] decît de problema propriu-zisă a timpului.

Să începem cu sistemul solar. Se crede astăzi că acest sistem s-a format prin condensarea unui nor de gaze aflat în rotaţie, dar detaliile acestui proces sînt deocamdată foarte puţin lămurite. Condensîndu-se, norul s-ar

[1] Cosmogonia planetară contemporană acordă o mare atenţie formării planetelor din mici fragmente solide sau din jeturile de gaze expulzate de Soare în perioada sa de tinereţe *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

fi scindat în mai multe fragmente care au devenit apoi Soare, planete și sateliți. Din punct de vedere astronomic, procesul acesta trebuie să fi fost destul de rapid: i se evaluează durata la cîteva milioane de ani. Rezultă că toate obiectele sistemului solar s-au format aproape în același timp, într-un moment destul de bine definit, astfel că au practic aceeași vîrstă.

Determinarea cea mai precisă a acestei vîrste comune poate fi făcută, cum este și firesc, în cazul Pămîntului. Ne folosim de faptul că anumite elemente radioactive se dezintegrează în decursul timpului cu o viteză cunoscută. De exemplu, uraniul 235 se transformă cu încetul în plumb: „timpul lui de înjumătățire" este de 710 milioane de ani, ceea ce înseamnă că după trecerea acestei perioade jumătate din cantitatea inițială de uraniu s-a transformat în plumb. Ar fi deci suficient să se măsoare proporțiile de uraniu și de plumb existente într-un minereu pentru ca să aflăm apoi, printr-un calcul foarte simplu, de cînd există minereul. În realitate, problema nu este chiar atît de simplă, fiindcă minereul putea să conțină plumb încă de la început. Totuși, măsurînd un număr mare de eșantioane și folosind tehnici rafinate de analiză, s-a reușit să se evalueze vîrsta Pămîntului, care a fost găsită egală cu 4,5 miliarde de ani, cu o eroare posibilă, în plus sau în minus, de 0,3 miliarde de ani. De fapt cifra aceasta arată vîrsta scoarței terestre, adică timpul ce s-a scurs de cînd suprafața Pămîntului a început să se solidifice. Se poate afirma însă că această solidificare trebuie să fi fost destul de rapidă și că ea a început încă din momentul în care fragmentul ce trebuia să dea naștere Pămîntului s-a despărțit de restul norului. Vîrsta scoarței este deci practic egală cu vîrsta Pămîntului.

Aplicarea acestei metode și la alte obiecte mari ale sistemului solar va deveni posibilă atunci cînd va începe explorarea Lunii, a lui Venus și a lui Marte[1], iar mai

[1] Analiza rocilor aduse din Lună de expedițiile „Apollo" a dat ca vîrstă a acestora în general 3—4 miliarde de ani; o rocă adusă de Apollo 15, compusă din fragmente cristaline de aluminosilicați de sodiu și potasiu, s-a dovedit veche de 4,6 miliarde de ani — vîrsta aproximativă a Pămîntului *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

tîrziu a celorlalte planete și a sateliților lor. Se știe pe de altă parte că sistemul solar cuprinde o cantitate foarte mare de pulberi și de roci de diferite mărimi, numite meteoriți, din care unii se ciocnesc cu Pămîntul și ajung pînă la sol. Măsurarea conținutului lor de elemente radioactive și de plumb conduce, de asemenea, la vîrste cuprinse între 4,5 și 5 miliarde de ani.

Vîrsta Soarelui poate fi aflată printr-o metodă cu totul diferită. Cunoscîndu-i-se masa și compoziția chimică inițială, i se poate calcula întreaga evoluție și în special variația luminozității lui în decursul timpului. Luminozitatea actuală a Soarelui îi arată prin urmare vîrsta, care a fost găsită egală cu aproximativ 5 miliarde de ani. Calculul acesta este foarte complicat și nu a putut fi făcut decît de curînd datorită progreselor astronomiei teoretice și ale calculatoarelor electronice. Metoda are însă un punct slab: nu se cunoaște exact compoziția inițială a Soarelui, astfel că vîrsta obținută nu este chiar atît de precisă.

Totuși, concordanța acestor vîrste calculate prin metode diferite este cu totul remarcabilă și pare să dovedească cu oarecare siguranță că vîrsta sistemului solar este de aproximativ 5 miliarde de ani.

Să trecem acum la Galaxie, luată în întregul ei. Ea s-a format probabil printr-un proces de condensare a gazelor similar celui care a dat naștere sistemului solar, însă la o scară cu totul diferită: norul de gaz inițial avea dimensiuni de un miliard de ori mai mari. Condensarea a durat aproximativ o sută de milioane de ani, interval care este și în cazul acesta foarte scurt față de timpul scurs de-atunci încoace și ne oferă un punct de plecare precis pentru măsurarea vîrstei Galaxiei.

Condensarea norului cosmic a fost însoțită de turtirea lui, fenomen care a dat Galaxiei forma de disc pe care o are și astăzi. Pot fi văzute însă și obiecte care, deși fac parte în mod neîndoielnic din Galaxia noastră, se află totuși în afara discului ei: este vorba de grupările de stele izolate numite „roiuri globulare". Sîntem nevoiți să admitem că roiurile acestea s-au format chiar de la începutul evoluției Galaxiei, adică înainte

Scanned with OKEN Scanner

de a se fi produs turtirea. Din această cauză, ele sînt niște indicatoare excelente ale vîrstei Galaxiei.

Pentru a se afla vîrsta unui roi globular, se folosește tot teoria evoluției stelelor aplicată în cazul Soarelui. Atunci cînd este vorba de roiuri, sarcina este mai ușoară, fiindcă nu mai observăm o singură stea, ci un număr mare de stele ce au toate aceeași vîrstă și aceeași compoziție chimică inițială și nu se deosebesc între ele decît prin masă. Cu toate acestea, evaluările făcute sînt încă nesigure, datorită în bună parte insuficiențelor teoriei dar și faptului că distanța roiurilor globulare, una din datele esențiale în calcule — nu ne este bine cunoscută. Vîrsta Galaxiei, aflată pe această cale, este cuprinsă între 10 și 15 miliarde de ani.

O altă metodă, mai puțin sigură, se bazează pe faptul că în interiorul discului stelele se formează continuu din gazele ce mai subzistă încă. Viteza de formare este cunoscută doar cu foarte mare aproximație, dar se poate măsura cantitatea de gaze existente astăzi. Printr-un calcul simplu se poate deduce că vîrsta discului galactic este cuprinsă între 5 și 12 miliarde de ani.

Mai dispunem în fine și de o altă metodă care recurge din nou la elementele radioactive, însă pe baza unui alt principiu. Există doi izotopi ai uraniului, U-235 și U-238, care au timpi de înjumătățire diferiți: 710 milioane de ani pentru primul izotop și 4,5 miliarde de ani pentru cel de-al doilea. După cum se vede, cel dintîi se dezintegrează mai repede, ceea ce înseamnă că proporția lor în ansamblul Galaxiei se modifică cu timpul. *Proporția lor inițială poate fi însă calculată teoretic*, fiindcă acești doi izotopi s-au format simultan, în decursul unui lanț cunoscut de reacții nucleare desfășurate în primele stele apărute în Galaxie, care după aceea au explodat și au împrăștiat uraniul în tot cuprinsul Galaxiei[1]. Vîrsta aflată pe această cale este de aproximativ 15 miliarde de ani.

[1] Este o expunere foarte simplificată a originii elementelor chimice *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

Faptul că mai multe metode independente dau rezultate comparabile mărește încrederea pe care o putem avea în cifrele obținute. Putem spune de aceea că vîrsta Galaxiei este foarte probabil de ordinul a 12 miliarde de ani. Rezultă că sistemul solar, care are o vîrstă de numai 5 miliarde de ani, n-a apărut de la începutul istoriei Galaxiei, ci mult mai tîrziu. Faptul acesta n-are nimic surprinzător, fiindcă se știe că stelele s-au format continuu și continuă să se mai formeze chiar în zilele noastre în interiorul Galaxiei. Din acest punct de vedere, Soarele apare o dată mai mult ca o stea care nu prezintă nimic deosebit și care nu este nici foarte tînără și nici foarte bătrînă în comparație cu totalitatea populației stelare.

Să examinăm în fine universul luat în întregul lui, sau cel puțin partea din el pe care o putem observa. Atît cît poate pătrunde privirea noastră, universul este populat cu galaxii care par distribuite în spațiu la întîmplare, cînd izolate și cînd în grupe. Unele din ele seamănă destul de bine cu Galaxia noastră. Studiul lor amănunțit este în general imposibil din cauza depărtării foarte mari. Totuși faptul că atunci cînd o galaxie îmbătrînește strălucirea ei scade, iar culoarea ei tinde spre roșu, ne permite să evaluăm vîrsta acestor formații, deși metoda nu este prea precisă[1]. *Vîrstele aflate sînt comparabile cu aceea a Galaxiei noastre și nu se pare că ar exista galaxii mult mai bătrîne.*

Ajungem acum la fenomenul care a provocat nenumărate discuții de la descoperirea lui acum 30 de ani: este vorba de expansiunea universului. Liniile spectrale ale galaxiilor sînt deplasate spre roșu, ceea ce pare să indice că galaxiile se îndepărtează de noi cu o viteză din ce în ce mai mare pe măsură ce sînt mai îndepărtate. S-a încercat cîteodată să se atribuie deplasarea liniilor spectrale și altor cauze decît îndepărtării galaxiilor. În cazul acesta ar trebui să imaginăm însă un efect fizic adhoc, ca, de exemplu, îmbătrînirea luminii în decursul timpului, lucru ce nu pare întru nimic justificat. Dimpo-

[1] Acest mijloc de determinare a vîrstei galaxiilor este extrem de inexact și nesigur; el nu este folosit în practică *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

trivă, explicarea fenomenului prin mișcarea galaxiilor nu face să intervină decît un fapt fizic bine cunoscut, și anume efectul Doppler-Fizeau, pe care-l întîlnim într-un foarte mare număr de alte cazuri din fizică și din astronomie și care este interpretat întotdeauna ca fiind datorat unei mișcări relative a sursei de lumină, fără ca această interpretare să fi fost pusă în discuție vreodată.

Întorcîndu-ne în trecut și presupunînd că viteza galaxiilor a fost întotdeauna aceea pe care o au astăzi, putem deduce că într-o anumită epocă a trecutului galaxiile trebuie să fi fost foarte apropiate unele de altele, poate chiar pe punctul de a se atinge. Aceasta înseamnă că densitatea materiei era pe atunci în univers mult mai mare ca astăzi. Dintr-un calcul foarte simplu, bazat pe distanțele și pe vitezele actuale ale galaxiilor, rezultă că epoca aceasta se situează cam cu 13 miliarde de ani în urmă, cifră care urmează să fie verificată, căci deocamdată nu cunoaștem bine distanțele la care se află galaxiile. Durata aceasta este numită „vîrsta expansiunii". Un calcul mai subtil, care face să intervină teoriile cosmologice, adică teoriile asupra universului luat în totalitatea lui, dă valori diferite, dar de același ordin de mărime.

Nu putem să nu remarcăm concordanța izbitoare dintre „vîrsta expansiunii" și vîrsta galaxiilor, calculată așa cum am arătat mai sus. În general vorbind, majoritatea evaluărilor făcute asupra vîrstei obiectelor cerești pornind de la baze fizice foarte diferite ajung la cifre de ordinul cîtorva miliarde de ani. *Într-adevăr, se pare că acum aproape 12 miliarde de ani în univers s-a petrecut ceva important.* Ce anume? Starea actuală a cunoștințelor noastre nu ne permite încă să dăm un răspuns, astfel că deocamdată nu putem face decît speculații. Pentru unii, momentul acela a marcat nașterea, sau chiar crearea universului. Un „atom inițial" ar fi explodat, împrăștiind în toate direcțiile materia care s-ar fi condensat apoi rapid în galaxii și stele. Pentru alții, universul ar exista din vecii vecilor și ar oscila doar între stări de mare concentrație și de mare diluare. În decursul fiecărei stări

Scanned with OKEN Scanner

de mare concentrație (din care ultima ar fi fost acum 12 miliarde de ani), universul s-ar fi găsit — ca să spunem așa — pus din nou la topit, unele galaxii fiind distruse sau prefăcute în pulbere[1], iar altele complet modificate. Au mai fost propuse și alte teorii, însă nici un fapt nu ne dă astăzi posibilitatea să facem o alegere între ele. Este totuși probabil că progresele din ce în ce mai rapide ale științei ne vor aduce în curînd noi cunoștințe asupra acestor probleme pasionante.

[1] Este o metaforă. De fapt este vorba nu de pulbere, ci de gaze *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

2
Spaţiul şi timpul

Scanned with OKEN Scanner

Este posibil oare ca una și aceeași structură să reunească spațiul și timpul, așa cum pare să sugereze o anumită analiză a mesajelor senzoriale pe care le primim din cea mai fragedă copilărie? De fapt, noțiunea de mișcare este mai înnăscută decît cea de spațiu sau de timp. După cum ne va arăta Pierre Costabel, gîndirea greacă s-a izbit la vremea ei — în special prin Zenon din Eleea — de dificultatea pe care i-o provoca faptul că ea refuza totuși să recunoască spațiului și timpului aceleași însușiri de divizibilitate[1], deși accepta noțiunea „evidentă" de mișcare. Era vorba de o dificultate de neînvins, care reprezenta un adevărat scandal pentru gîndirea greacă și pe care nici marele Aristotel n-a putut s-o învingă în întregime. Ne vom mulțumi aici să remarcăm numai că de pe urma ei a rămas o neliniște care a planat asupra întregii fizici clasice și că fizica modernă n-a fost în stare încă să instituie formalisme de aceeași natură care să trateze spațiul și timpul în mod asemănător.

Teoria relativității a reușit — pe o cale a cărei economie și eleganță trebuie s-o admirăm — să împrăștie cîteva din contradicțiile interne proprii fizicii secolului al XIX-lea. Într-adevăr, mecanica clasică, despre care Paul Germain ne-a arătat ce sărace, dar totuși ce admirabile concepte de bază avea, nu putea fi aplicată decît la un univers vid, în care ar fi fost posibilă transmisiunea infinit de rapidă a semnalelor sau a forțelor. Fizica undelor ridica la rîndul ei dificultăți tot atît de mari, la care se adăugau cu maliționitate greutățile provocate de existența unui Eter ipotetic, tot atît de necesar în teoria clasică a undelor, pe cît era de insesizabil din punct de vedere experimental și de imposibil din punct de vedere logic.

Totuși, deși relativitatea a impus conceptul spațiu-timpului cu patru dimensiuni (trei numite „spațiale" și una numită „temporală"), ea n-a reușit să identifice complet ca structură spațiul și timpul, ceea ce se traduce în special prin semnul minus din expresia lui ds^2 relativist, precum și prin distincția netă dintre sensurile spațiului și sensul timpului, a cărui săgeată rămîne îndrep-

[1] În original „aceeași structură cuantificată" *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

tată exclusiv dinspre trecut înspre viitor. Deși în această teorie noțiunea de timp universal dispare definitiv în profitul noțiunii de timp propriu fiecărui observator, trebuie totuși să remarcăm că acest din urmă timp este exprimat în funcție de un parametru t care se aseamănă foarte mult cu timpul universal.

Dispare, de asemenea, posibilitatea de a împărți evenimentele în două clase: cele ce s-au realizat deja și cele ce nu s-au realizat încă. Pentru evenimente despărțite printr-un interval de gen „spațial" nu mai există o ordine de succesiune obligatorie, **ceea ce ne interzice să considerăm că „viitorul" nu s-a realizat încă și că trecutul deja s-a realizat.** Adevărata distincție (necunoscută fizicii clasice) privește pe de o parte domeniul viitor-trecut și pe de altă parte domeniul inaccesibil, adică totalitatea evenimentelor cărora nu le putem transmite și de la care nu putem primi nici un mesaj.

Scanned with OKEN Scanner

Despre cîteva vechi paradoxuri

P. COSTABEL

Director de studii la Şcoala practică de înalte studii

Zénon, cruel Zénon, Zénon d'Elée
M'as-tu percé de cette flêche ailée
Qui vibre, vole et qui ne vole pas...
Le son m'enfante et la flèche me tue.
Ah, le Soleil! Quelle ombre de tortue
Pour l'âme, Achille immobile à grands pas.

P. Valéry (Le Cimetière Marin)[1]

„După primele mari progrese realizate de teoria mulţimilor, filozofii şi matematicienii au crezut că venise momentul să-şi întindă mîna peste larga prăpastie ce-i despărţea. Dialogul pe care l-au angajat părea să fie la-nceput un fel de joc al cuvintelor întrerupte: se părea că, iată, încă cîteva clipe, încă un mic efort şi unii îi vor înţelege pe ceilalţi. Cineva l-a invocat însă pe Zenon din Eleea şi paradoxurile lui. Şi atunci, la apariţia lui Zenon, matematicienii au înţeles că trebuiau să se retragă". Umorul acestor rînduri lapidare, datorate lui Henri Lebesgue, continuă să rămînă savuros şi acum, însă situaţia care l-a inspirat este din fericire depăşită. Şi dacă n-ar fi vorba decît de colaborarea dintre filozofi şi oamenii de ştiinţă, am putea fi siguri că discuţia ce-ncepe nu va avea nici o asemănare cu jocul cuvintelor între-

[1] Zenon! O crud Zenon, fiu din Eleea,
Mă străbătu întreg săgeata-aceea
Ce zboară şi nu zboară! Iar copil
Mă face zvonu-i, vîrful — mort mă lasă!
Ah, soarele!... Ce umbră de ţestoasă
Pe suflet, sprinten şi legat Ahil!

Din *„Cimitirul marin"*
Trad. de C.D. Zeletin („Tribuna", nr.47(779)/ 1971).

Scanned with OKEN Scanner

rupte. Dar însuşi obiectul acestei dezbateri — timpul— face să apară o prăpastie de altă natură, mai largă şi mai adîncă decît cea provocată de dificultatea pe care o întîmpină oamenii atunci cînd este vorba să se-nţeleagă unii pe alţii. Cum putem sesiza şi analiza un lucru care este, pentru fiecare din noi, ceva mult mai intim decît însăşi conştiinţa ce o avem despre el? Participanţii la dezbatere reuniţi în paginile acestei cărţi speră totuşi să poată dovedi că se pot arunca punţi pe deasupra acestei prăpăstii, iar dezbaterea însăşi ne va arăta dacă speranţa aceasta a fost sau nu înşelată. Dar înainte de a arunca punţile este, desigur, necesar să explorăm punctele de sprijin posibile ale acestor punţi şi chiar să-l invocăm — vai! — pe Zenon din Eleea. De astă dată însă sperăm că la apariţia acestuia nimeni nu se va simţi ispitit să se retragă.

De pe urma acestui gînditor profund din secolul al V-lea î.e.n. istoria nu ne-a transmis decît unele paradoxuri, precum şi numeroase comentarii care i-au redus figura la rangul de sperietoare derizorie. Şi totuşi Zenon merita o soartă mult mai bună. Pentru a-l înţelege trebuie să cădem de acord asupra faptului că argumentele lui se înserează într-o polemică ce continuă să aibă o valoare actuală. Vom încerca să facem dovada acestei afirmaţii.

Primul argument. „Nu poţi ajunge pînă la capătul unui stadion, pentru că nu poţi străbate într-un timp finit un număr infinit de puncte. Înainte de a străbate distanţa întreagă eşti nevoit să străbaţi jumătate din ea, şi înainte de a parcurge prima jumătate trebuie să parcurgi jumătate din ea. Şi aşa mai departe, pînă la infinit. Şi fiindcă în orice spaţiu dat există un număr infinit de puncte, nu poţi străbate într-un interval finit, unul după altul, un număr infinit de puncte".

Al doilea argument. „Plecînd în urmărirea unei broaşte ţestoase, Ahile n-o va întrece niciodată. El trebuie să ajungă mai întîi la locul de unde a plecat broasca. Dar în timpul acesta ea va continua să înainteze. Ahile va trebui să parcurgă şi această din urmă distanţă, iar

Scanned with OKEN Scanner

broasca va profita de timp ca să mai facă o bucățică de drum. Ahile se va apropia mereu de broască, dar n-o va ajunge niciodată".

Este evident că aceste două argumente fac parte din aceeași categorie. Într-adevăr, în ambele cazuri se pune problema dacă o distanță poate fi străbătută fie printr-o mișcare absolută, fie printr-o mișcare relativă. Adversarul căruia i se adresează Zenon admite că orice deplasare este compusă din „elemente" succesive și distincte, iar scopul argumentelor este să-i demonstreze că, dacă această ipoteză de lucru este aplicată fără circumspecție, se ajunge la rezultate absurde. Aplicarea imprudentă a ipotezei constă în afirmația că distanța este divizibilă la infinit (de unde rezultă că este compusă dintr-un număr infinit de elemente), pentru ca apoi duratele corespunzătoare să fie concepute ca și cînd ar avea toate o mărime măsurabilă. Aristotel (datorită căruia cunoaștem argumentele lui Zenon) l-a înțeles perfect. „Fără îndoială — spune el —, dacă ne referim la o cantitate infinită de elemente, nu este posibilă atingerea ei într-un timp finit, dar dacă ne referim la un număr infinit de divizări, atunci imposibilitatea dispare, căci în acest caz și timpul este infinit".

Cu alte cuvinte, dacă dorim să evităm o absurditate, care nu era, desigur, mai puțin evidentă pentru Zenon decît pentru orice alt om cu bun simț, și dacă vrem să menținem ipoteza compoziției dintr-un număr infinit de elemente, atunci ipoteza aceasta trebuie aplicată atît timpului cît și spațiului, care, prin urmare, **trebuie să fie legate prin aceeași structură.**

Celelalte două argumente ale lui Zenon se referă la imposibilitatea de a admite drept structură comună a spațiului și timpului altceva decît continuul, divizibil la infinit.

Al treilea argument. „Săgeata care zboară este în stare de repaus. Căci dacă considerăm că orice lucru este în stare de repaus cînd ocupă un spațiu egal cu el însuși,

Scanned with OKEN Scanner

și dacă ceea ce zboară ocupă totdeauna și în orice moment un spațiu egal cu el însuși, lucrul acela nu se poate mișca".

Și în cazul acesta Aristotel a înțeles foarte bine despre ce era vorba. „E consecința presupunerii — spune el — că timpul este compus din momente. Dacă respingem această ipoteză, silogismul cade". Într-adevăr, concepția că timpul este compus din părți indivizibile nu dă posibilitatea de a face distincție, în privința acestor părți, între „instantaneu" și „durată elementară". Ea duce la ideea că fiecărui moment i-ar corespunde atît o poziție spațială a obiectului mobil, cît și o „bucată" din mișcare.

Al patrulea argument. „Cel de-al patrulea argument — spune Aristotel — se referă la mase (puncte materiale indivizibile) care se mișcă pe stadion în șiruri egale, paralele și de sens invers, unele plecînd de la capetele stadionului, iar altele de la mijloc, și avînd toate o viteză egală. Pretinsa consecință ar fi aceea că jumătatea timpului este egală cu dublul ei". Argumentul este greu de înțeles, însă figurile păstrate de Alexandru din Afrodisias ne permit să facem o reconstituire care nu lasă loc nici unui dubiu. Să presupunem deci că pe stadion sînt trei șiruri de puncte, așa cum arată figura 7. Șirul *A*

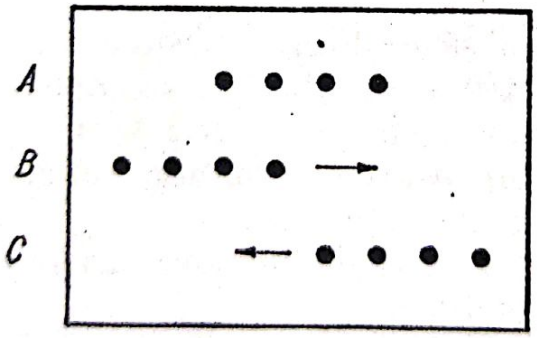


Fig. 7.

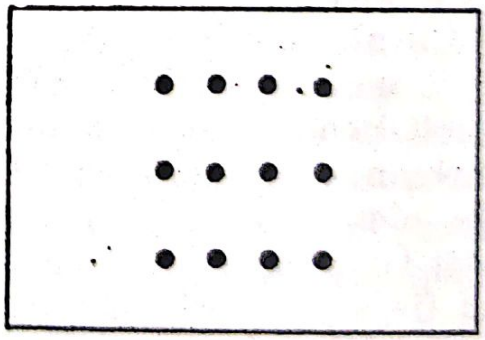


Fig. 8.

este în stare de repaus. Șirurile *B* și *C*, care se mișcă în sens invers, cu viteză egală, ajung *simultan* în poziția din figura 8. Dar, pentru a ajunge aici, capătul șirului *B* a trebuit să depășească de două ori mai multe puncte din șirul *C* decît din șirul *A*. Or, după ipoteza luată în considerare, fiecare trecere necesită un „grăunte" de timp. Măsurat în raport cu *C*, timpul este deci de două

ori mai mare decît cel măsurat în raport cu *A*. Şi totuşi, pentru trecerea de la configuraţia din figura 7 la aceea din figura 8 se scurge *acelaşi interval de timp*.

Argumentul al patrulea se grupează cu cel de-al treilea, după cum cel de-al doilea se grupează cu cel dintîi, prin introducerea unei mişcări relative. Liniile sînt reprezentate prin şiruri de elemente, fiindcă aşa şi le reprezentau pitagoricienii. Această reprezentare explicitează, pentru spaţiu, ipoteza elementelor indivizibile, care nu era decît implicită în cel de-al treilea argument. Avantajul ei este că ne dă o imagine şi mai clară a absurdităţii la care ne-ar conduce o structură corpusculară a spaţiului şi a timpului. Măsurarea timpului prin numărul unităţilor de spaţiu străbătute (consecinţa directă a ipotezei unei compoziţii discrete comune) conduce în acelaşi caz la concluzia absurdă că unu este egal cu doi, concluzie la care, de altfel, ducea în fond şi al treilea argument. „Grăuntele" de timp, considerat concomitent drept „moment" şi „durată elementară", ar urma să fie, în acelaşi timp, şi unu şi doi.

Aristotel s-a ridicat de-aici la următoarea generalizare. Analizînd aşa-numitele „treceri ale contrariilor unul în celălalt" (repaus-mişcare, alb-nealb, fiinţă-nefiinţă), Aristotel afirmă că în toate aceste cazuri subiectul schimbării se va afla în mod necesar în unul sau în celălalt dintre cele două contrarii, fără a fi însă în întregime în vreunul dintre ele. Nu vrem să insistăm asupra acestei probleme dialectice, care iese din cadrul subiectului nostru. Ceea ce importă mai curînd este să precizăm ce anume ne-a învăţat Zenon.

Mişcarea — de a cărei existenţă experienţa noastră cea mai grosieră şi mai uzuală nu ne permite să ne îndoim — impune ca spaţiul şi timpul să aibă aceeaşi structură, şi anume aceea de continuu divizibil la infinit[1].

Totuşi, simpla recunoaştere a acestei unităţi structurale nu este suficientă. Într-adevăr, omul poate „trăi" miş-

[1] Această concepţie a fost scoasă în evidenţă de Alexandre Koyré în *Observaţii asupra paradoxurilor lui Zenon*, pe care le-a publicat în *Études d'histoire de la pensée philosophique*, „Cahiers des Annales", 19, editura A. Colin, Paris, pp. 9—32 *(N.A.)*.

Scanned with OKEN Scanner

carea, adică o poate reproduce, așa cum procedează la cinematograf, integrînd o serie de instantanee fotografice aranjate într-o succesiune temporală; el nu poate însă contempla mișcarea așa cum contemplă spațiul. Spiritul lui se află el însuși în interiorul timpului și nu poate ieși din el. De aceea, trebuința inexorabilă de reprezentare și de măsurare îl împinge spre o spațializare a timpului care nu este lipsită de pericole. Și în această problemă îl întîlnim din nou pe Aristotel, precedîndu-i cu mult pe Descartes și pe Leibniz, care au înțeles și ei acest pericol în secolul al XVII-lea. Într-adevăr, în Cartea a IV-a a *Fizicii* sale, el enunță principiul care distinge în mod esențial timpul de spațiu: „Nici o parte a unei succesiuni temporale — spune el — nu coexistă una cu alta". Și adaugă: „în afară de părțile din care una este înfășurată și alta înfășurătoare, cum este un timp mai scurt față de un timp mai lung" (*Fizica*, Cartea IV (10), 218 a, 10). În felul acesta, analiza lui Zenon se desăvîrșește. Din trecerea timpului (o altă constatare foarte grosieră și uzuală a experienței noastre), filozofia deduce că singura operație comparativă posibilă în timp este incluziunea directă. Dar chiar în acest caz, este necesar ca în cadrul acestei incluziuni să se petreacă ceva, cel puțin în spiritul observatorului.

„Atunci cînd în gîndirea noastră nu se petrece nici o schimbare sau cînd nu observăm asemenea schimbări — spune în continuare Aristotel — nu avem impresia că timpul trece. Aceeași impresie au avut-o la deșteptare acei oameni din Sardes care, după cum povestește fabula, au dormit în timp ce eroii își săvîrșeau isprăvile: momentul dinainte ei îl legau cu cel de după, făcînd din ele unul singur, iar intervalul îl suprimau fiindcă era gol de senzații" (*Fizica*, Cartea IV (II), 208 b, 23). „De aceea, fără schimbare și mișcare, timpul nu există" (*Fizica*, Cartea IV (II), 218 b, 34).

În afirmațiile acestea regăsim caracterul de continuu infinit divizibil al timpului. Desigur, putem să dormim, ca cei din Sardes, și să nu observăm evenimentele petrecute în acest timp, adică deosebirea dintre anterior și posterior, dar nu putem concepe o limită cantitativă inferioară a devenirii la trecerea de la un termen la celă-

Scanned with OKEN Scanner

lalt, adică în opoziţia „anterior-posterior". Ceva mai mult, din faptul că nu-i putem atribui limite rezultă că timpul este etern. Momentul nu este decît o separaţie între ceva ce sfîrşeşte şi ceva ce începe, astfel că ideea despre un început absolut sau despre un sfîrşit absolut al timpului este de neconceput. Momentul nu există decît din cauză că de o parte şi de cealaltă a lui se află timpul *(Fizica*, Cartea VIII (I), 251 b, 19). Iar dacă astfel stau lucrurile cu timpul, atunci corelaţia timp-mişcare ne obligă să tragem aceeaşi concluzie şi pentru mişcare: ea a existat dintotdeauna şi va exista veşnic.

Aristotel nu se mărgineşte însă la aceste consideraţii calitative. Dacă timpul nu există fără schimbare şi mişcare, el nu se reduce pur şi simplu la mişcare *(Fizica*, Cartea IV (II), 219 a, 1). El este ceva care structurează mişcarea, din interiorul ei; sub marea diversitate a aparenţelor, timpul este numărul mişcării în trecerea ei de la anterior la posterior. „Într-adevăr, după cum numărul ne dă posibilitatea să distingem între mai mult şi mai puţin, tot aşa timpul ne permite să distingem între mai multă sau mai puţină mişcare", adică să comparăm vitezele în cadrul unei percepţii simultane ale cărei condiţii nu trebuie să fie deocamdată prea bine precizate. Atunci cînd Aristotel conchide că „timpul este un fel de număr" (*Fizica*, Cartea IV (II), 219 b, 1—4) nu putem pretinde de la el decît conştiinţa obscură a unei idei pe care astăzi avem posibilitatea s-o exprimăm, şi anume că o structură topologică foarte rudimentară este suficientă ca să organizeze continuul temporal ca mulţime măsurabilă.

Dimpotrivă, Aristotel a avut conştiinţa clară a necesităţii unui postulat pentru însăşi măsura timpului, adică a unui postulat asupra existenţei unei mişcări „unitate", mişcare perfectă şi permanent identică cu ea însăşi, reprezentînd o mişcare de referinţă-tip.

Din nefericire, linia dreaptă rămîne pentru el ceea ce este ea în experienţa noastră sensibilă, adică finită prin însăşi esenţa ei. De aceea — crede el — linia dreaptă nu este aptă să poarte mişcarea „unitate", continuă, uniformă şi eternă. Singur cercul, care nu are nici început nici sfîrşit, şi în care fiecare punct posedă în aceeaşi măsură

aceleaşi calităţi, este capabil să poarte o mişcare care trebuie să continue la infinit, fără să se stingherească pe ea însăşi prin întoarcerea înapoi. În felul acesta, pentru Aristotel, mişcarea perfectă nu putea fi decît mişcarea circulară. Privilegiul acesta al circularităţii va avea consecinţe considerabile, şi aceasta timp îndelungat, pînă în secolul al XVII-lea, adică pînă la începuturile ştiinţei clasice.

Şi totuşi, în ceea ce priveşte problema timpului, am greşi dacă am acorda o prea mare importanţă conflictului dintre cerc şi dreaptă. Cel ce ne atrage atenţia asupra acestui fapt este marele Arhimede, unul din ultimii martori ai gîndirii antice, a cărui tradiţie matematizantă, readusă în actualitate în epoca Renaşterii, a fost sursa ştiinţei pozitive moderne. În tratatul său asupra spiralei, Arhimede îşi propune să studieze curba descrisă de un punct mobil pe o dreaptă ce se roteşte la rîndul ei în jurul unui punct. Desigur că pentru el problema care se punea era aceea de a descoperi proprietăţile geometrice ale curbei. Nouă însă, analiza lui ne permite să facem o constatare extrem de interesantă. Variaţiile proporţionale ale razei vectoare şi ale unghiului pe care această rază îl face cu raza-origine sînt reduse la variaţiile unui parametru unic, care este identificat cu timpul, iar asimilarea aceasta este făcută fără să se insiste prea mult asupra ei, ca şi cînd ar fi fost vorba de un lucru foarte firesc şi de la sine înţeles. Se vede că în lumea în care trăia Arhimede se schimbase ceva de la Aristotel încoace. Se putea acum concepe fără nici o dificultate şi în mod general variaţia uniformă, în funcţie de timp, a unei mărimi geometrice, indiferent dacă era vorba de un unghi sau de o distanţă; nu mai prezenta dificultate identificarea formelor (am spune astăzi a legilor orare) ale mişcărilor uniforme circulare sau rectilinii: spirala simboliza uniunea şi combinarea a două forme care păruseră pînă atunci incompatibile.

Acest exemplu sugestiv ne învaţă ceva foarte util: deşi în secolul al XVII-lea, legea inerţiei a acordat mişcării rectilinii şi uniforme un statut privilegiat, am risca să nu înţelegem nimic dacă am interpreta lucrul acesta ca o biruinţă a dreptei asupra cercului sau dacă

Scanned with OKEN Scanner

am crede că era vorba în continuare despre postulatul existenței unei mișcări „unitate", exprimată în termeni geometrici. Este adevărat că numeroși autori urmau să favorizeze această ambiguitate prin însuși limbajul lor. Însă „linearitatea" mișcării „unitate" este în realitate de natură pur algebrică, concepție pe care modernii o vor așeza la baza măsurării timpului clasic, întîlnindu-se astfel, de cele mai multe ori fără să-și dea seama, cu Arhimede și cu prietenii acestuia din Alexandria.

Prin cele de mai sus am terminat explorarea prealabilă a ceea ce am numit mai înainte „punctele de sprijin", pe care ni le-a furnizat gîndirea greacă antică, în care știința și filozofia se îmbinau cu atîta vigoare și într-un mod atît de fericit. Pornind de la această bază comună, se poate încerca o nouă explorare, în care cuvîntul trebuie să-l aibă de astă dată oamenii de știință. Nu trebuie să ne așteptăm ca ei să ne dezvăluie misterul dimensiunii comune a oamenilor în explorarea căreia efortul de obiectivare întîmpină mari dificultăți izvorîte din însăși natura lucrurilor, dar știm de pe acum că și în acest domeniu oamenii de știință pot să ne antreneze pe urmele lor în cercetări care nu au fost lipsite de rezultate rodnice. Ireversibilitatea nu ne apare numai ca o caracteristică a timpului, supusă de altminteri întrebărilor celor mai pasionante. Și în istoria umană există un reziduu pozitiv, ireductibil și inalienabil, asupra căruia nu se mai poate reveni și pe baza căruia omul măsoară ce a cîștigat în cunoștințe. Sperăm că celelalte contribuții la prezenta dezbatere ne vor arăta cît de extraordinar de mult s-a îmbogățit în zilele noastre acest fond.

Scanned with OKEN Scanner

Spre descoperirea spaţiu-timpului

L. MARIOT
Profesor la Facultatea de ştiinţe din Dijon

Doar umbre se mişcă prin inima cavernei.

Platon

Spaţiul: visul tînărului cosmonaut, obiectul dorinţelor oprimaţilor şi aventurierilor, coşmarul tînărului licean refractar geometriei! „Să ne mai distanţăm întîlnirile“ îşi spun melancolic îndrăgostiţii care au început să se plictisească unul de altul, iar poetul exclamă cu emoţie: „Şi a trăit ca rozele: doar spaţiul dimineţii“.

Spaţiul — ca şi timpul şi numărul — face parte din noţiunile primare izvorîte din experienţa noastră zilnică şi din bunul simţ al oamenilor. Cuvîntul spaţiu revine des în vocabularul nostru uzual. De aceea este interesant să încercăm a înţelege ce cuprinde acest cuvînt şi să degajăm treptat din învelişul lui intuitiv noţiunile ştiinţifice pe care le ascunde.

În primul rînd, este interesant de notat că spaţiul are adesea semnificaţia de durată temporală. Noţiunea de spaţiu-timp nu este oare înnăscută? Oamenii nu vor fi sesizat oare încă foarte de timpuriu legătura profundă ce există între spaţiu şi timp (deşi această legătură a fost înecată în abstracţiile continue ale oamenilor de ştiinţă, nefiind redescoperită decît la începutul secolului al XX-lea)?

Scanned with OKEN Scanner

Ce face copilaşul din leagăn? Foarte curînd el percepe că în jurul lui sînt numeroase lucruri aflate în mişcare permanentă, pentru ca apoi să-şi dea seama şi de propria lui existenţă. Prin faţa ochilor săi trec şi se succed umbre şi lumini. Totodată aude sunete şi voci familiare, pe care învaţă să le recunoască: vocea unei anumite umbre n-are acelaşi timbru ca a alteia. Îşi dă seama de faptul că poate să-şi întindă braţele şi să le mişte. Observă cîteodată că mîinile lui ating un obiect (suseta, de exemplu) şi învaţă treptat să-l recunoască. În jurul lui vede obiecte diferite, cu forme variate. Într-o zi, din stîngăcie, lasă să-i cadă suseta la pămînt şi după o clipă aude un zgomot. Lucrul acesta îl miră. De aceea, de îndată ce poate, reîncepe experienţa şi o transformă în joacă. După cîteva luni, mămica îi dăruieşte o jucărie, apoi alta. Cîteodată le vede pe amîndouă una lîngă alta şi se joacă de-a ascunselea cu ele. Marea aventură începe însă cînd face primii paşi. De-abia atunci începe copilul să răscolească cu adevărat lumea exterioară. El merge dintr-un loc într-altul, porneşte să cucereasscă spaţiul.

Copilaşul vede fiinţe, pe tata şi pe mama, sau lucruri, percepe proprietăţile lor statice: înălţimea părinţilor, forma ursuleţului de pluş, şi-abia mult mai tîrziu culoarea cuburilor cu care se joacă. Observă, de asemenea, fapte (evenimente, cum le vor numi mai tîrziu relativiştii): apariţia bruscă, în casă, a cîinelui sau strigătele fraţilor lui cînd se întorc de la şcoală.

Obiectele stau alături unele de altele şi pot fi văzute deodată, fiecare la locul lui. Faptele însă se rînduiesc altfel. Mama nu-i lîngă el, copilul ţipă pentru că se plictiseşte, aude mai întîi glasul ei şi apoi se bucură văzînd că apare aceea pe care o iubeşte. Copilaşul ştie că faptele se succed, că pot fi rînduite unele după altele, separate prin intervale de timp finite. Ce bucurie pe el cînd poate asculta tictacul ceasului pe care i-l arată tăticu: iată-l cum, fără să-şi dea seama, se apucă să decupeze timpul în intervale egale.

Între timp, copilul începe să facă o distincţie între un cub şi două cuburi şi îşi atinge rînd pe rînd cele cinci degete ale mîinii: învaţă să numere şi îşi însuşeşte no-

Scanned with OKEN Scanner

ţiunea de număr. Este interesant de notat că sistemul de numărare folosit de oameni este în esenţa lui binar sau zecimal. Copilul are de timpuriu conştiinţa numărului doi şi mult mai tîrziu a numărului trei. La grădiniţă, copiii învaţă să numere pînă la zece (pe degetele celor două mîini); multe populaţii primitive n-au putut trece niciodată de acest număr.

În fine, copilul învaţă să meargă. Ştie că se deplasează faţă de casă, vede automobilele circulînd pe stradă, iar cînd se suie pentru prima oară în tren rămîne foarte surprins vîzînd că arborii defilează cu mare viteză prin faţa lui. Într-un singur cuvînt, copilul percepe propria lui deplasare, precum şi deplasarea lucrurilor în raport cu alte lucruri.

Rezultă că relaţiile primare de juxtapunere, succesiune, adiţie şi de mişcare relativă sînt fundamentele experienţei noastre de toate zilele. Suprimarea uneia din aceste noţiuni ar mutila ceea ce ne-am însuşit prin contactul nemijlocit cu natura, iar a le suprima pe toate ar echivala cu dispariţia noastră.

Copilul a crescut şi are acum trei ani. A început să-şi dea bine seama de lucrurile şi de faptele care-l înconjoară şi a pus stăpînire pe spaţiul înconjurător. Dar pînă unde se întinde acest spaţiu? Este conştient de faptul că anumite obiecte sînt inaccesibile, ca, de exemplu, Luna, care se deplasează seara în raport cu norii. Înţelege în curînd că o parte din lumea exterioară nu-i este accesibilă şi astfel pătrunde în el noţiunea de infinit.

Primii oameni, civilizaţiile antice, au procedat în acelaşi fel. De-o parte se afla Pămîntul lor şi de cealaltă o sferă în care erau înfipte stelele şi care îşi relua în fiecare noapte aceeaşi înfăţişare. Desigur, caldeenii au remarcat aştrii nomazi, adică Soarele, Luna şi planetele, care se deplasează pe bolta cerească, ceea ce le-a dat posibilitatea să le încorporeze sistemului terestru. Pînă la începutul secolului al XVIII-lea, spaţiul era constituit din sistemul solar, avînd ca pînză de fond, sau ca pînză a infinitului, totalitatea stelelor. Limitele lumii mişcătoare au început să se îndepărteze abia pe vremea marelui astronom englez Herschel, cînd s-a observat că şi stelele erau animate de mişcări relative.

Scanned with OKEN Scanner

În rezumat, spațiul este constituit din ansamblul ființelor și lucrurilor care ne înconjoară și — datorită marilor telescoape actuale — știm că el se întinde pînă foarte departe, din ce în ce mai departe. Este finit? Este infinit? Avem de-a face cu o problemă foarte gingașă care ține mai mult de filozofie decît de știința propriu-zisă. *Ceea ce ne interesează îndeosebi aici este legătura strînsă dintre noțiunea de spațiu și aceea de timp și de număr.*

Analiza mai detaliată a acestor noțiuni, făcută în lumina teoriilor științifice moderne, ne va arăta valoarea profundă pe care o are această legătură.

În treacăt vom semnala totuși problema diviziunii spațiului, pusă deja de Zenon: o riglă poate fi împărțită în două jumătăți, apoi fiecare din aceste două jumătăți în cîte alte două jumătăți etc. Putem continua așa pînă la infinit? Prin această întrebare abordăm anevoioasa problemă a aspectului discontinuu sau continuu al spațiului. Dacă postulăm că spațiul este discontinuu, ne lovim de contradicțiile întîlnite în capitolul precedent (paradoxurile lui Zenon), asupra cărora nu vom mai reveni. De altminteri, aceeași problemă se pune în ceea ce privește diviziunea timpului. Deocamdată trebuie să remarcăm legătura intimă care există între aceste probleme și teoria numerelor, mai întîi a numerelor întregi, apoi a numerelor raționale, pentru a termina cu numerele naturale, asociate continuității dreptei reale și deci a spațiului — continuitate de care s-a poticnit gîndirea vechilor greci, care nu cunoșteau decît numerele întregi și cele „neobișnuite".

Nu putem trece sub tăcere nici divizibilitatea materiei, fiindcă ea ocupă spațiul și constituie însuși spațiul, dacă luăm drept bună definiția dată mai sus. Teoriile fizice de la începutul secolului al XX-lea admiteau că diviziunea materiei are limite, simbolizate de către atomul indivizibil. S-a constatat însă în curînd că atomul este o lume extrem de complexă, constituită dintr-un nucleu și din electroni periferici, ale căror mișcări sînt guvernate, de altminteri, de către alte legi decît legile microscopice ale electromagnetismului. Apoi s-a descoperit că nucleul este și el de o mare complexitate,

Scanned with OKEN Scanner

fiind constituit la rîndul lui din alte particule, numite elementare, care se dovedesc, din păcate, capabile să se transforme, să formeze legături trecătoare[1], spre surprinderea fizicienilor care lucrează la marile acceleratoare de la Geneva și Brookhaven. În felul acesta, infinitul mic prezintă un mister asemănător cu acela al infinitului mare. Trebuie să semnalăm, de altfel, că unele din aceste particule au o viață surprinzător de scurtă, de ordinul a 10^{-25} s. **La scara aceasta ne mai putem servi oare de noțiunile noastre uzuale de spațiu și de timp?** *Problema a fost pusă, fără a fi fost încă rezolvată (întrucît relațiile de nedeterminare ale lui Heisenberg par să nu fie în fond decît consecința anumitor ipoteze adăugate mecanicii ondulatorii, ipoteze care refuză să ia în considerare soluțiile singulare ale ecuației lui Schrödinger)*[2].

Oamenii au simțit de timpuriu nevoia să simplifice lumea înconjurătoare pentru a o putea studia și înțelege mai bine. Dorința de abstracție este foarte veche, iar primele științe constructive au apărut încă din antichitate: aritmetica (știința numerelor), geometria (știința spațiului), apoi cinematica (știința mișcărilor, care îmbină geometria cu timpul) și, în fine, mecanica, știință care avea ambiția suplimentară de a reconstitui și explica lumea reală. Grecii n-au reușit să depășească stadiul geometriei, astfel că știința a trebuit să-i aștepte pe Galilei și pe Newton pentru a construi o mecanică coerentă (a se vedea capitolul lui Paul Germain) și apoi pe Einstein ca să poată defini axiomatica ce leagă între ele spațiul, timpul și numărul.

Grecii au fost niște geometri străluciți, dar ei n-au făcut decît geometrie statică: au studiat proprietățile

[1] Este vorba de formații de particule numite curent *rezonanțe* și care se comportă ele însele ca particule noi, avînd un timp de viață extrem de scurt.

[2] Prof. L. Mariot se referă aici la teoria *dublei soluții*, propusă de Louis de Broglie, care ar permite renunțarea la interpretarea pur statistică-probabilistă a mecanicii ondulatorii. Încercarea lui L. de Broglie a fost însă respinsă de cvasitotalitatea fizicienilor, care consideră că formalismul obișnuit al mecanicii cuantice oferă posibilitatea descrierii complete a fenomenelor fizice la scară microscopică (*N.E.*).

Scanned with OKEN Scanner

figurilor fixe, fără să se preocupe de mișcările lor posibile. Desigur că două triunghiuri egale se pot suprapune. Însă în substratul acestei definiții există noțiunea de deplasare a unei figuri pe deasupra celeilalte și nu avem nici o indicație că grecii ar fi presupus această deplasare subiacentă: lumea geometriei lor era înțepenită.

Mai tîrziu, școala de la Alexandria a fondat cinematica. Pentru ca să ne convingem, ar fi suficient să ne reamintim descrierea mișcării planetelor făcută de Ptolemeu.

Odată cu epoca Renașterii, cu Galilei și cu Newton, studiul mișcărilor ajunge la ordinea zilei, iar în limbajul științific apar cuvintele „reper" și „sistem de axe de coordonate". În jurul nostru, anumite corpuri se deplasează unele în raport cu altele și este interesant să reperăm mișcările unora față de altele. De exemplu, o muscă se deplasează pe o ușă. Solidul „ușă" ne dă posibilitatea să reperăm mișcarea muștei, astfel că putem asocia poziției pe care aceasta o are la un moment dat pe ușă două numere. Ușa se deschide... Cunoscînd mișcarea ușii în raport cu sala, putem deduce mișcarea muștei în raport cu reperul „sală". Această din urmă determinare de poziție necesită un număr în plus, adică unghiul pe care-l face ușa deschisă cu unul din zidurile încăperii.

Continuînd pe aceeași cale, vom repera toate mișcările terestre față de reperul „Pămînt", iar dacă Pămîntul este indisolubil legat de spațiul înconjurător, prelungit pînă la infinit, și dacă admitem pe de altă parte că timpul „se scurge" pretutindeni în același fel, atunci Pămîntul devine un reper absolut, care permite studierea mișcărilor absolute ale mobililor. Se postulează apoi că spațiul este absolut și concomitent i se atribuie și timpului aceeași însușire. Așa s-au întîmplat lucrurile la începuturile științei clasice.

Faptul că Copernic descoperă că Pămîntul se învîrtește în jurul Soarelui n-are din acest punct de vedere prea multă importanță: reperul absolut va fi în acest caz un triedru avînd drept origine centrul Soarelui și ale cărui axe vor fi trei drepte îndreptate spre trei stele „fixe" de pe bolta cerească.

Scanned with OKEN Scanner

Reperul geocentric a fost înlocuit astfel de reperul heliocentric. Newton enunță toate acestea cu vigoare, declarînd: „Spațiul absolut, fără legătură cu lucrurile exterioare, rămîne permanent același și imobil. Spațiul relativ este acea măsură sau dimensiune mobilă a spațiului absolut care cade sub simțurile noastre prin legătura ei cu corpurile și pe care omul de rînd o confundă cu spațiul imobil...". „În ceea ce privește ordinea poziției, totul este determinat de situația în spațiu. În aceasta constă esența lui, *astfel că ar fi absurd ca locurile absolute ale spațiului să se miște*".

Newton ne oferă aici o noțiune metafizică și foarte criticabilă a spațiului: în fața noastră se întinde o pădure deasă care reprezintă schematic spațiul înconjurător. Dacă doborîți cîțiva arbori, peisajul nu suferă nici o schimbare fundamentală... **Dar dacă am doborî toți arborii, ar mai exista spațiul?** Da, ne răspunde Newton: ceea ce rămîne este spațiul absolut „fără relații cu lucrurile exterioare, identic cu sine însuși și imobil". *Rezultă că pentru Newton spațiul vid sau absolut există în afara oricărei mișcări și în afara oricărei noțiuni de timp. Această afirmație este, desigur, lipsită de orice temei.*

În decursul secolelor al XVIII-lea și al XIX-lea, astronomii au descoperit mișcările relative ale stelelor și apoi ale galaxiilor, ajungînd la concluzia că toți aștrii universului se mișcă unii în raport cu ceilalți. *Începînd de atunci, nu se mai putea spera să se ajungă la misteriosul reper absolut indirect, cu ajutorul mecanicii cerești.* În cel mai rău caz, admițînd că universul a avut un început, putea fi luat drept reper absolut ansamblul pozițiilor inițiale ale corpurilor cerești. Dar chiar dacă un asemenea reper ar fi existat, el n-ar putea fi pentru noi decît doar o nălucă, fiindcă n-am avea posibilitatea să descriem în raport cu el mișcările ce au survenit ulterior.

Simțind neputința mecanicii, fizicienii, care nu voiau să se recunoască bătuți, s-au îndreptat spre optică. Lumina se propagă în vid cu o viteză de 300 000 km pe secundă. Pentru a explica acest lucru, opticienii au postulat că propagarea luminii este înlesnită de un mediu vibrator care umple vidul și corpurile transparente. Acest mediu ipotetic, pe care l-au numit eter, era, după

aer, apă, pământ și foc, cel de-al cincilea element al fizicii lui Aristotel. În felul acesta, *eterul „materializa" spațiul absolut al lui Newton*. Era deci posibil ca prin experiențe optice să se evidențieze mișcarea absolută a Pământului în raport cu eterul și să se măsoare „vîntul de eter" provocat de deplasarea planetei noastre în spațiul absolut. Celebrele experiențe realizate de Michelson, la sfîrșitul secolului al XIX-lea, au dat însă toate rezultate negative, ceea ce dovedea că **viteza de propagare a luminii este constantă, oricare ar fi mișcarea observatorului.**

Izbucnise astfel o criză foarte gravă: trebuia sau să se nege evidența, adică rezultatul experiențelor perfecte ale lui Michelson, sau să se respingă spațiul absolut al lui Newton, iar, odată cu el, și timpul absolut. Se descoperise un etalon de viteză riguros constant, dar care era, în mod paradoxal, incompatibil cu noțiunile fundamentale ale mecanicii newtoniene.

Cel care a cutezat să facă pasul decisiv a fost Einstein, care a respins noțiunea de spațiu și de timp absolut, revenind la ideea sănătoasă că spațiul este ansamblul lucrurilor și al ființelor aflate în agitație permanentă în jurul nostru.

Adîncit în meditație, poetul contemplă magnificul spectacol al cerului nocturn. Ce recepționează el? Informații plecate încă de multă vreme, de cel puțin trei ani, de la steaua cea mai apropiată și de ordinul unui milion de ani de la nebuloasele extragalactice. El admiră sclipirea unui astru care nu mai există poate de mai multe secole. El nu vede un ansamblu de aștri aflați în același moment al vieții lor, ci doar tranșe succesive ale ansamblului pozițiilor ocupate în decursul anilor de corpurile rătăcitoare ale universului.

Noțiunea de spațiu este legată astfel în mod indisolubil de noțiunea de timp. Realitatea exterioară este continuul numit spațiu-timp, iar legătura permanentă dintre spațiu și timp este asigurată de constanta vitezei luminii. **Spațiu-timpul este mulțimea ordonată a pozițiilor ocupate succesiv de toate lucrurile și de toate ființele.** *Acesta este, în marea lui simplicitate, răspunsul pe care știința actuală îl poate da întrebării puse la început: ce este spațiul?*

Scanned with OKEN Scanner

Principiul relativităţii şi echivalenţa fizică dintre spaţiu şi timp

O. COSTA DE BEAUREGARD
Şef de cercetări la C.N.R.S.

Pentru fizician, entitatea timp prezintă două aspecte mari, care sînt, şi unul şi altul, extrem de bogate.

Sub unul din aceste două aspecte, care a fost luat în considerare de mai multe ori şi în mod aproape exclusiv în capitolele precedente, timpul se dovedeşte a avea, prin intermediul mişcării, o natură comună cu spaţiul. Cunoaştem cu toţii faimoasa afirmaţie a lui Aristotel: „Timpul este numărul mişcării". S-ar putea spune că istoria mărimii fizice numită timp, aşa cum reiese ea din mecanică şi optică, din electromagnetismul clasic şi, în sfîrşit, din teoria relativităţii restrînse a lui Einstein[1], nu este decît un îndelungat comentariu al următoarei expresii pe care o cita cu plăcere Emile Picard: „*Măsurăm timpul cu ajutorul mişcării şi mişcarea cu ajutorul timpului!*" (în termeni moderni am spune „...cu ajutorul schimbării").

Pentru fizicieni, aspectul aristotelic al timpului este acela al timpului considerat ca mărime fizică măsura-

[1] Aceste teme au fost dezvoltate amănunţit în *La notion de temps, équivalence avec l'espace*, Paris, editura Hermann, 1963.

Scanned with OKEN Scanner

bilă, adică a timpului definit ca adiționabil cu el însuși în domeniul său care este durata. Operația se face în esență prin stabilirea unei legături între timp și anumite lungimi spațiale, direct măsurabile cu ajutorul legilor fizice universale, adică socotite independente de particularitățile materiei ce intervine în aplicarea legii. Legea dinamică $\mathfrak{F} = m\gamma$ a lui Galilei-Newton este o lege universală[1], care raportează mărimea fizică numită „timp" la trei mărimi direct măsurabile (cu ajutorul riglelor, dinamometrelor sau pîrghiilor), și anume la spațiu, forță și masă. Aceeași lege permite definirea (în mod indirect) a timpului ca mărime măsurabilă. Formulele pentru schimbarea reperului inerțial, numite ale lui Lorentz-Poincaré (dar care au fost stabilite de fapt, pentru prima dată, de către Voigt, în 1887), formează un grup de formule universale **care raportează pentru prima dată în mod direct — prin introducerea constantei universale** *c* **— măsura timpului la măsura spațiului,** *realizînd astfel, cu o puritate nesperată, sinteza în care nădăjduia Aristotel.*

Cronometrul a urmat și el o dezvoltare paralelă aceleia realizate în istoria ideilor, al cărei punct de plecare și de sosire le-am arătat mai sus. Legea dinamică a lui Galilei-Newton s-a încorporat în orologiile și cronometrele lui Huyghens. Tot această lege a devenit și cheia citirii marelui orologiu al cerului: cinematica cerească a lui Kepler, care a surghiunit la muzeu cinematica lui Eudoxiu și a lui Ptolemeu, implică aplicarea dinamicii cerești a lui Galilei și Newton. Iar la punctul de sosire al marii generații de cronometre mecanice și electromagnetice dăm peste noile cronometre cu stabilizare moleculară și atomică, care reprezintă, așa cum vom arăta mai departe, realizarea ideală a orologiului lui Aristotel.

Înainte de a intra însă în miezul problemei timpului considerat ca mărime fizică măsurabilă, ne simțim obligați să evocăm pe scurt și un alt aspect, de asemenea extrem de pasionant, al acestei mărimi.

Ce idee ne-am face despre termodinamică dacă, după ce a descoperit echivalența fizică dintre căldură și lucru,

[1] A se vedea nota precedentă *(N.A.)*.

Scanned with OKEN Scanner

n-ar formula imediat și un al doilea principiu, destinat să stabilească — și dacă este posibil să ne reveleze — sursa profundă a ceea ce constituie originalitatea exclusivă a căldurii, făcîndu-ne să înțelegem unele fenomene mult mai familiare decît cele care demonstrează comunitatea ei de natură cu lucrul mecanic? Cu mult înainte de a se fi descoperit că există un coeficient universal de echivalență între lucrul mecanic și căldură, știam cît se poate de bine că transformarea monotermă a lucrului în căldură este foarte ușoară, în timp ce transformarea inversă este imposibilă, și că căldura trece spontan de la sursele calde spre sursele reci.

Înțelegem protestele unui filozof ca Bergson împotriva a ceea ce el numea atît de exact „spațializarea timpului" de către mecanică, electromagnetism și, acum mai în urmă, de către teoria relativității. Este însă tot așa de ușor de înțeles că fizicianului îi este imposibil să renunțe la această idee atît de veche și în același timp de o fecunditate atît de prodigioasă. Numai că, după ce va fi examinat cu atenție toate aspectele acestui prim principiu al științei timpului, va avea obligația strictă de a analiza cu nu mai puțină grijă ceea ce eu aș numi cel de-al doilea principiu al științei timpului, adică acel aspect „bergsonian", de o originalitate atît de extraordinară, care este ireversibilitatea sau devenirea, și care corespunde unei experiențe mult mai directe și mai vitale decît aceea a aspectului aristotelic. Cu toții știm că în spațiu putem să ne ducem și să ne întoarcem, dar că, din nefericire, nu ne putem întoarce în trecut și nici nu avem posibilitatea de a sonda viitorul.

Vom lăsa însă deocamdată deoparte, în mod deliberat, tot ce are legătură cu aspectul „bergsonian" al timpului, pentru a ne dedica aspectului spaționalizabil sau aristotelic, amînînd studiul celui de-al doilea aspect pentru un capitol ulterior.

Am arătat modul în care formula universală $\mathcal{F} = m\gamma$ a dinamicii, datorită lui Galilei-Newton, ne-a oferit pentru prima dată o veritabilă definiție a timpului ca mărime fizică măsurabilă. Acum va trebui să insistăm asupra relației foarte intime care s-a stabilit între pro-

Scanned with OKEN Scanner

blema timpului ca mărime fizică măsurabilă și principiul relativității restrînse.

Ceea ce numim astăzi principiul relativității restrînse a fost descoperit inițial ca principiu de relativitate al dinamicii. Foarte ascuns ochilor simplului bun-simț (îi iau ca martori pe studenții care urmează mecanica generală), principiul acesta s-a precizat prin opoziție cu două principii anterioare, unul mult mai riguros, celălalt ceva mai imprecis. Pe de o parte, un fel de sublimare a experienței noastre ancestrale și puerile, pe care am căpătat-o „trăind cu picioarele pe pămînt", ne îndemna să socotim drept principiu existența unui reper absolut al spațiilor; pe de altă parte, cinematica clasică (care folosește noțiunea de spațiu euclidian, figuri solide ale acestui spațiu și timpul universal) venea să recuze această idee și să așeze în locul ei principiul mișcării relative, în virtutea căruia toate reperele solide ale spațiului convin în aceeași măsură descrierii mișcărilor, indiferent de mișcările relative, rotitoare sau accelerate, ale acestor repere.

Aceste două principii extreme, acela al reperului absolut al spațiilor și acela al mișcării relative, sînt, și unul și altul, mult mai primitive și mai simple decît principiul relativității restrînse al dinamicii. Nu se putea ghici de la început că experiența pendulului lui Foucault avea să facă posibilă evidențierea rotației Pămîntului și este interesant de remarcat că procesul lui Galilei a reprezentat prima bătălie dată în numele principiului relativității restrînse. În virtutea tradiției, adversarii lui Galilei susțineau concomitent ambele principii extreme, acela al reperului absolut al spațiilor („pămîntul solid de sub picioare") și acela al mișcării relative („se poate afirma tot atît de bine că Soarele se rotește în jurul solidului terestru, ca și contrariul").

În ce consta atunci acea intuiție profundă de fizician care-l îndreptățea pe Galilei să afirme că este mult mai adevărat de a spune că Pămîntul este acela care se mișcă și se rotește? La acest legislator al principiului inerției, intuiția consta în referirea implicită la mișcarea inerțială a centrului de greutate al sistemului solar, care, datorită enormei preponderențe a masei Soarelui, se confundă

Scanned with OKEN Scanner

practic cu centrul acestui astru. *Astăzi ne dăm seama că Galilei îl prezicea pe Einstein* și nu trebuie să ne îndoim că descoperirea spațiu-timpului cvadridimensional reprezintă în istoria umanismului o dată tot atît de importantă ca și pătrunderea în conștiința oamenilor a sfericității Pămîntului și a heliocentrismului.

Îngăduindu-mi o ultimă digresiune de la subiectul acestui capitol, aș vrea să arăt ce s-a întîmplat cu vechile principii ale reperului spațial absolut și al mișcării relative.

Principiul relativității restrînse al dinamicii, modificat în mod convenabil de Lorentz, Poincaré și Einstein, a devenit un principiu general al fizicii. El a fost cel care a făcut posibilă descoperirea spațiu-timpului cvadridimensional al lui Minkowski. Și totuși! Vechiul principiu al mișcării relative n-a murit definitiv sau, cel puțin, murind, el a lăsat un loc vacant și și-a desemnat un succesor: principiul relativității generalizate, *în virtutea căruia toate sistemele de coordonate univoce ale spațiu-timpului convin în aceeași măsură pentru descrierea mișcării*. Cît despre foarte primitivul principiu al reperului spațial absolut, despre care s-a crezut o bucată de vreme că se înălțase cu siguranță în cerurile mitologiei, acesta și-a făcut și el, sub o formă de altminteri complet reînnoită, o nouă apariție în cosmologie, *în care se poate defini acum, la scară globală, un reper privilegiat al spațiilor și un timp cosmic universal.* **Bineînțeles că după violentele lor dispute din secolele trecute, cele trei principii de relativitate se împacă acum foarte bine unul cu altul, ceea ce dovedește că adeseori este suficient să te explici în mod temeinic pentru ca eventualul adevăr pe care-l conține orice concepție științifică să-și găsească forma adecvată.**

Ceea ce ne interesează aici în primul rînd este principiul relativității restrînse a lui Einstein. De aceea trebuie să insistăm mai întîi asupra legăturii lui intime cu principiul inerției al lui Galilei.

Să reducem orologiul dinamic la schema lui cea mai simplificată, adică la punctul material liber. Principiul inerției al lui Galilei prevede că mișcarea acestui punct

Scanned with OKEN Scanner

material este rectilinie și uniformă. Avem de-a face în acest caz cu o concretizare extrem de schematică a orologiului aristotelic, în care timpul și spațiul sînt puse în legătură directă prin intermediul mișcării („mișcarea locală" a lui Aristotel).

Este foarte important să remarcăm că legea inerției a lui Galilei n-ar avea — riguros vorbind — nici un sens dacă n-am considera că include două definiții:

1) definiția familiei echivalent privilegiate a reperelor galileene ale spațiului, aflate, toate, într-o mișcare de translație uniformă unele în raport cu altele;

2) definiția scării galileene a timpului.

Într-adevăr, *în general o mișcare nu poate fi în același timp rectilinie și uniformă*:

a) nici în două repere solide ale spațiului aflate în mișcare de translație accelerată sau de rotație unul față de celălalt;

b) nici în două scări de timp legate printr-o funcție monotonă oarecare.

În treacăt fie zis, avem în cazul acesta o foarte frumoasă ilustrare a două legi epistemologice relevate de către Duhem și, respectiv, Poincaré: o descoperire de origine experimentală (în cazul de față legea inerției) nu impune, ci sugerează și permite formularea unei legi, a unei ipoteze sau a unui principiu. **Și orice postulat este echivalent, în ultimă analiză, cu un sistem de definiții.**

După ce și-au dat seama că dinamica ignoră complet așa-numitul reper absolut al spațiilor, clasicii s-au gîndit să ceară opticii să li-l descopere. Într-adevăr, din cauză că credeau în existența eterului ca suport al vibrațiilor luminoase, ideea de a identifica acest mediu material ideal cu reperul absolut al spațiilor venea oarecum de la sine. Vedem astfel cum, încă de la începuturile acestor discipline, între cinematică și optică, cele două științe ale mișcării fără materie, se leagă o alianță esențială, care își va afla un deznodămînt neașteptat și strălucit în teoria relativității restrînse și în fiica spirituală a acesteia, mecanica ondulatorie, ceea ce va conduce la domnia universală a științei undelor asupra cinematicii și dinamicii înseși.

Scanned with OKEN Scanner

Abordarea experimentală a acestei noi probleme a avut loc în două etape. Cea dintîi, inaugurată în 1818 de către Arago, este aceea a experienţelor asupra efectelor de ordinul unu în $\beta = v/c$ (relative la viteze mici ale vîntului de eter), iar cea de-a doua, iniţiată în 1887 de către Michelson şi Morley, este aceea a experienţelor asupra efectelor de ordinul doi în β. În ambele cazuri, teoria a răspuns „rezultatului negativ" dat de experienţă prin cîte o formulă corespunzătoare, care s-a dovedit a fi nu numai cu mult mai bună, dar şi universală, adică independentă de caracteristicile particulare ale materiei folosite. Este vorba de aşa-numita formulă a antrenării eterului, elaborată de Fresnel în 1818, şi de aceea a contracţiei lungimilor materiale sub „vîntul de eter", elaborată de Fitzgerald şi Lorentz în 1895.

Defectul care infirma, din punct de vedere epistemologic[1], *exprimarea în care sînt înveşmîntate cele două formule este acela că „vîntul de eter" nu a fost introdus în ele decît pentru a-l face să dispară mai tîrziu din rezultatul final:* **se afirmă pe de o parte existenţa eterului, iar pe de altă parte imposibilitatea de a-l identifica pe cale experimentală.** *Această situaţie cu totul neplăcută necesita atît o soluţie epistemologică, cît şi una tehnică.*

Soluţia epistemologică, spre care s-au orientat în special Mascart şi Poincaré, a fost aceea de a afirma că principiul de relativitate al dinamicii, conform căruia există o echivalenţă privilegiată a reperelor galileene, este principiul universal de relativitate al fizicii. Acceptarea lui implica respingerea explicită a celor două noţiuni solidare, de eter şi de reper spaţial absolut, ambele condamnate ca fiind „metafizice".

Soluţia tehnică consta în apelul la teoria matematică a grupurilor, *care implică teoria relativităţii restrînse*. Aceasta a fost soluţia aleasă de Poincaré pe baza experienţei asupra efectelor de ordinul doi, dînd astfel forma definitivă a formulelor propuse anterior de Lorentz şi chiar de Voigt (în 1887). Este însă foarte interesant de remarcat că experienţa din 1818 asupra efectelor de ordinul unu ar fi fost ea singură suficientă pentru ca, apelîndu-se la teoria

[1] Vezi, cu privire la epistemologie, *Anexa*, p. 196 *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

grupurilor (a cărei origine datează din 1830), să se elaboreze teoria relativității restrînse (Abelé și Malvaux). *De aceea, afirmația că echivalența dintre teoriile clasice și cele relativiste ale opticii cinematice rezultă chiar din formula de antrenare a eterului, elaborată de Fresnel ca urmare a experiențelor asupra efectelor de ordinul unu,* **nu este adevărată decît dacă se ignorează teoria grupurilor,** *fiindcă tocmai această teorie este aceea ce stabilește (chiar la efectele de ordinul unu în* $\beta = v/c$*) privilegiul teoriei relativității.*

Vom arăta acum felul în care „rezultatul negativ" al experienței lui Michelson și Morley ne permite să facem din viteza luminii o constantă prin definiție universală.

Dacă experiența Michelson-Morley n-ar fi dat un rezultat negativ, orice estimare a metrului etalon în lungimi de undă optice staționare ar fi trebuit să fie însoțită de determinarea direcției și mărimii „vîntului de eter". În fond, interferometrul lui Michelson reprezintă montajul diferențial al aparatului necesar pentru această comparație metrologică, fiindcă experiența lui arată că numărul undelor optice staționare purtate de o riglă materială dată este independent de orientarea riglei. Să vedem care sînt preciziile comparate date de experiența diferențială și de experiența directă. Realizarea cea mai precisă a experienței Michelson-Morley (Joos, 1930) ar fi permis depistarea unui „vînt de eter" avînd o viteză de 1,5 km/s, în timp ce precizia relativă (10^{-8}) a experiențelor metrologice nu ne-ar permite decît depistarea unui „vînt de eter" cu o viteză de 50 km/s. Orice s-ar spune, între experiența directă și experiența diferențială, care este mult mai fină, există deci o marjă de siguranță importantă.

Astăzi însă ne-am îndepărtat mult de șocul psihologic provocat de rezultatul negativ al experienței lui Michelson, iar de la apariția mecanicii ondulatorii, ceea ce ne-ar părea de neînțeles ar fi tocmai un rezultat pozitiv. **Într-adevăr, un corp solid trebuie considerat acum ca o undă materială staționară (de altminteri foarte complexă) și avem certitudinea că ecuațiile de undă ale tuturor particulelor materiale (inclusiv ale fotonilor) sînt solidare din punct de vedere cinematic, ceea ce înseamnă că toate sînt invariante în raport cu grupul Lorentz-Poincaré.** Ideea de a scoate în evidență așa-numitul „vînt

Scanned with OKEN Scanner

de eter" prin disocierea comportamentului cinematic al unui corp solid de acela al unei unde optice staționare a devenit astăzi aproape de neconceput.

Așa cum am arătat mai sus, experiența lui Michelson ne dă dreptul necondiționat de a lua lungimea de undă a unei radiații bine definite ca etalon de lungime, după cum, pe de altă parte, ne este permis să luăm drept etalon de timp perioada unei radiații bine definite. Stabilirea acestei duble definiții înseamnă însă a face din *c* o constantă absolută, deoarece etalonul de timp este raportat la etalonul de lungime și aceasta în mod universal.

Avem din nou în fața noastră o splendidă ilustrare a legilor epistemologice ale lui Duhem și Poincaré: rezultatul negativ al lui Michelson nu ne impune, ci ne permite și ne sugerează să facem din *c* o constantă absolută prin definiție, adică un factor de echivalență fizică între spațiu și timp. Odată cu admiterea unui etalon absolut de viteze, antica definiție aristotelică a timpului își găsește desăvîrșirea ei finală.

În momentul de față, măsurarea frecvenței de tranziție moleculare sau atomice începe să intre în practica curentă a laboratoarelor, care anunță încă de pe acum precizii relative, cu adevărat fantastice, de 10^{-10}, 10^{-11} sau chiar de 10^{-12} în măsurarea timpului. Această din urmă precizie ar fi suficientă să evidențieze efectul relativității generale asupra mersului orologiilor, comparînd prin radio mersul a două orologii, unul amplasat pe suprafața Pămîntului și celălalt planînd la o înălțime de 20 000 m. O experiență bazată pe efectul relativist numit al lui „Mössbauer" a permis deja verificarea efectului Einstein la o denivelare ce nu depășește cîțiva metri.

Aș vrea să atrag atenția că teoria relativității nu depinde numai ca de legile opticii, așa cum au crezut cîtva timp specialiștii în mecanica rațională, care se simțeau oarecum ofensați că primesc de la optică lecții de cinematică. De la Louis de Broglie încoace, dinamica s-a supus și ea pe față științei undelor, luîndu-și astfel, asupra opticii și electromagnetismului, nesperata revanșă de a le anexa ca pe un caz particular: acela al mecanicii ondulatorii a fotonului.

Scanned with OKEN Scanner

După aceste multiple peripeţii, toate lucrurile se petrec deci ca în finalul unui roman pentru adolescente: electromagnetismul şi dinamica încheie o alianţă intimă sub semnul ecuaţiei lui Gordon, care generalizează ecuaţia lui d'Alembert şi este, ca şi aceasta din urmă, de natură invariantă relativistă.

În comparaţie cu grupul clasic Galilei-Newton, noutatea esenţială pe care o prezintă grupul Lorentz-Poincaré este aceea de a nu transforma ca mai înainte numai coordonatele spaţiale, ci şi coordonata timpului (cu ajutorul „coeficientului de echivalenţă" definit mai sus). La fiecare reper galilean va fi ataşat deci de acum înainte un timp propriu de tip Lorentz, lucru care justifică înlocuirea expresiei „reper galilean" cu aceea de „reper lorentzian".

Minkowski a dat o interpretare magnifică reperelor lorentziene. Dacă se completează un triedru lorentzian prin adăugirea unei a patra axe, pe care se înscrie timpul înmulţit cu c, şi dacă se impune ca schimbările de axe să respecte invarianţa pătratului intervalului spaţio-temporal

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

se defineşte un spaţiu-timp cvadridimensional. Se demonstrează atunci că reperele lorentziene nu sînt altceva decît reperele ortogonale şi de lungimi egale (numite şi carteziene) ale acestui spaţiu-timp pseudoeuclidian. Dintr-o dată, legea echivalenţei privilegiate a reperelor lorentziene, adică principiul relativităţii restrînse, capătă o interpretare geometrică ideal de clară, deoarece vine să coincidă cu legea echivalenţei privilegiate a reperelor carteziene, atît de bine cunoscută în spaţiile cu n dimensiuni de curbură nulă. Nu ne este permisă nici o îndoială: **avem de-a face aici cu descoperirea uneia din cele mai mari legi ale naturii.**

În ceea ce priveşte principiul relativităţii generale, succesorul vechiului principiu al mişcării relative, acesta afirmă echivalenţa de drept a tuturor sistemelor, valabil definite de coordonate curbilinii ale spaţiu-timpului. Şi din acest punct de vedere totul este deci foarte clar. Firește că atunci cînd se ivește necesitatea de a renunța

Scanned with OKEN Scanner

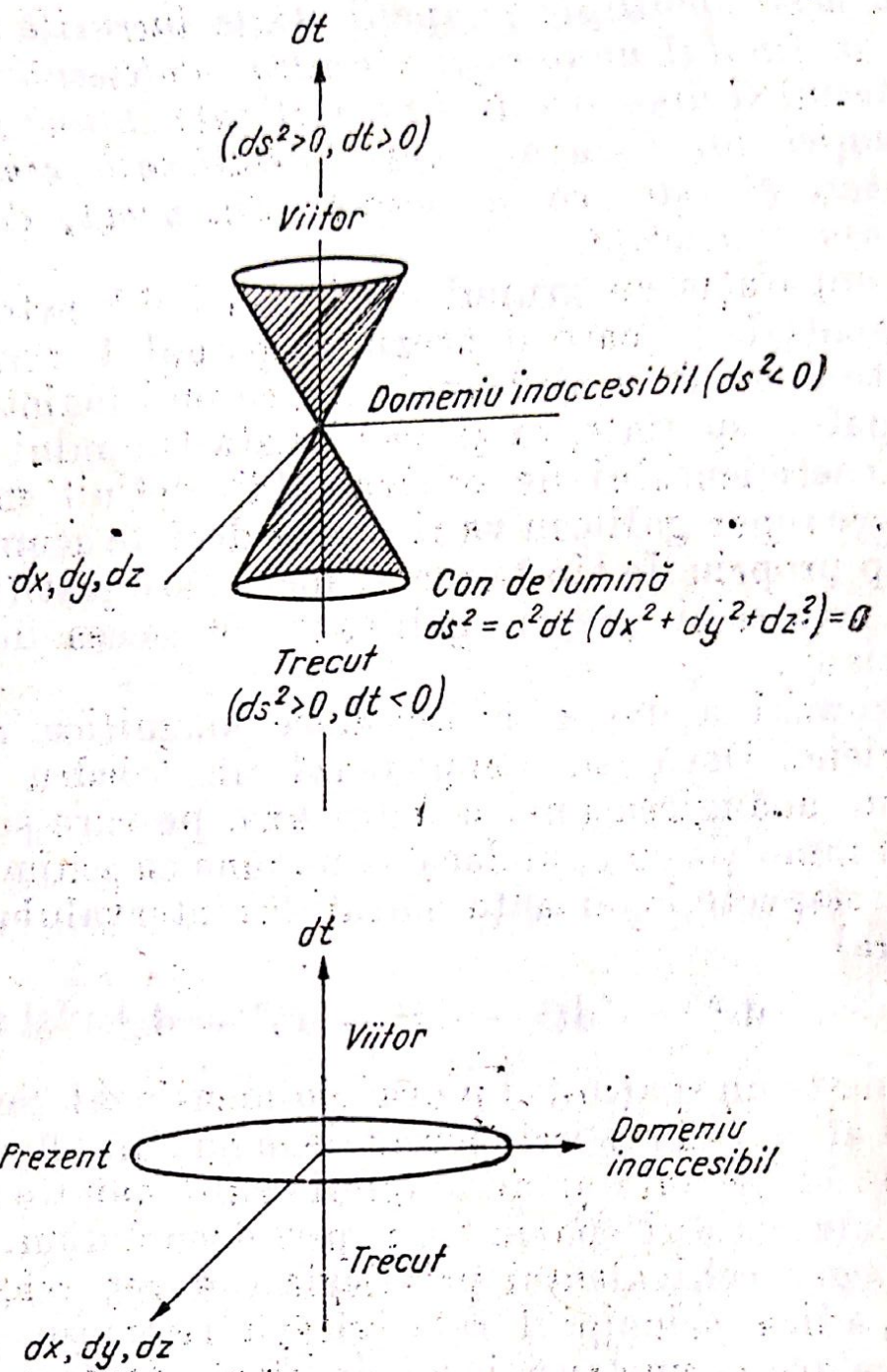


Fig. 9.

(Figura de sus) Spaţiu-timpul este împărţit în trei regiuni de către „conul de lumină" $ds^2 = 0$ (locul geometric al punctelor a căror „distanţă" faţă de origine este nulă, adică ansamblul traiectoriilor semnalelor cu viteză c). *„Domeniul inaccesibil" este locul geometric al punctelor ce nu pot fi atinse de nici un semnal plecînd din* 0 ($dx^2 + dy^2 + dz^2 > c^2dt^2$).

(*Figura de jos*) Remarcăm că dacă se extinde cazul în care c ar fi infinit (spaţiu-timpul Galilei-Newton), *„domeniul inaccesibil" se reduce la prezent.* Se poate comunica cu orice punct, cu condiţia de a se admite că putem dispune de un semnal cu viteză infinită.

Distincţia dintre spaţiu şi timp (acesta din urmă păstrînd săgeata lui de inversibilitate) continuă totuşi să existe.

Scanned with OKEN Scanner

la spațiu-timpul plat, pe primul plan trece principiul relativității generale, fiindcă principiul relativității restrînse nu mai are în acest caz decît o semnificație locală sau poate servi cel mult pentru aproximări în jurul unui punct. Lucrul acesta se și întîmplă în teoria einsteiniană a gravitației.

Ansamblul teoriei relativității restrînse — pentru a ne rezuma la ea — *reprezintă aplicarea sistematică, la diferitele ramuri ale fizicii (cu singura excepție a gravitației), a principiului echivalenței fizice dintre spațiu și timp.* Ea este în prezent una din teoriile cel mai bine verificate prin numeroase experiențe extraordinar de variate și adesea extrem de precise. Putem considera de aceea că legea transformării reciproce a spațiului în timp, prin schimbarea reperului cu coeficientul de echivalență c, precum și noțiunea de spațiu-timp cvadridimensional, sînt demonstrate cît se poate de temeinic.

Și totuși există ceva ce deosebește mărimea timp de lungimile spațiale: timpul urmează o lege de ireversibilitate care n-are echivalent în cazul spațiului. Ei bine, în limbajul ei, teoria relativității ne explică perfect și acest aspect.

Astfel, faptul că în spațiu-timp dreptele de lungime nulă (adică de așa fel încît să avem $ds^2=0$) sînt reale, ne permite să clasăm vectorii spațiu-timpului în trei categorii. Vom numi „con de lumină" un con cu generatoare de lungime nulă și avînd ecuația

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = 0.$$

Vectorii spațiu-timpului pot fi, așadar, clasați în următoarele categorii: a) cei pentru care $ds^2<0$, numiți „de gen spațial", care se îndreaptă spre exteriorul conului de lumină și fac parte din „domeniul inaccesibil"[1]; b)

[1] Cititorul atent va observa, desigur, că însuși „domeniul inaccesibil" este format din două părți distincte. Pe de o parte avem „domeniul inaccesibil-viitor" ($t > 0$) conținînd ansamblul punctelor care reprezintă evenimente *ulterioare* evenimentului origine ($t = 0$) și care nu pot, totuși, fi atinse de nici un semnal pornind din origine, iar pe de altă parte avem „domeniul inaccesibil-trecut" ($t < 0$) al evenimentelor anterioare evenimentului origine și care nu pot atinge cu nici un semnal acest eveniment *(N.E.)*.

cei pentru care $ds^2 > 0$, numiți „de gen temporal", ce se îndreaptă spre interiorul conului de lumină, care cuprinde, evident, două regiuni, numite respectiv „viitor" și „trecut", și c) cei pentru care $ds^2 = 0$, numiți „de gen luminos", care se află pe conul de lumină.

Distincția dintre viitor și trecut (ambele susceptibile de a fi atinse de semnale având o viteză inferioară lui c: $dx^2 + dy^2 + dz^2 < c^2dt^2$; $ds^2 > 0$) nu depinde de reperul lorentzian ales. Mai exact, dacă se postulează că cele patru coordonate sînt reale și că grupul de transformări al reperului Lorentz este continuu, se deduce că semnul celei de-a patra componente a vectorilor de gen temporal (adică a vectorilor viitorului și a vectorilor trecutului) se păstrează.

Rezultă că deși teoria relativității dovedește existența unei comunități de natură a spațiului și timpului, ea menține totuși o distincție categorică între cele două entități, distincție simbolizată și explicitată de semnul (—) *din expresia lui* ds^2. În consecință are loc o diferențiere foarte netă între sensurile spațiului și sensul timpului, acesta din urmă rămînînd prevăzut cu clasica lui săgeată trecut-viitor.

Diferența fundamentală dintre spațiu-timpul lui Galilei-Newton și acela al lui Einstein-Minkowski constă în aceea că primul este tăiat în două de către un hiperplan orizontal, comun tuturor observatorilor și care este „timpul universal", în timp ce secundul este tăiat în trei de către fiecare observator, astfel că definirea unui timp universal nu mai este posibilă.

Pentru a termina, aș vrea să spun cîteva vorbe în legătură cu problema, adesea rău înțeleasă, a „ghiulelei lui Langevin". Cu această problemă Bergson a avut de furcă într-un anumit pasaj al cărții sale, *Durée et simultaneité*, și în legătură cu ea pătrunzătorul analist al duratei a comis o eroare monumentală.

Bergson împrumută de la Einstein exemplul celor două orologii H și H', identice din punct de vedere mecanic, din care unul rămîne permanent într-un același reper Lorentz L_0, în timp ce celălalt se află mai întîi

Scanned with OKEN Scanner

într-un reper Lorentz L_1, care se deplasează cu viteza v în raport cu L_0, și apoi într-un alt reper Lorentz L_2, care se deplasează cu viteza $-v$ în raport cu L_0. Se presupune că cele două orologii se întîlnesc la începutul și la sfîrșitul deplasării. Or, se demonstrează că intervalul de timp ce separă cele două întîlniri nu este apreciat ca avînd aceeași durată de către cele două orologii: H', care a sărit dintr-un reper Lorentz în altul (suferind astfel o accelerație infinită într-un anumit moment al duratei), indică un interval de timp mai mic decît H, care n-a părăsit reperul său lorentzian. Dacă înlocuim accelerația bruscă printr-o accelerație progresivă, avem fenomenul îmbătrînirii frînate al lui Langevin: o cură de întinerire față de comunitate, realizată prin sechestrarea într-o incintă izolată și accelerată. Ne-am putea imagina astfel un astronaut care a plecat să facă, cu mare viteză, un tur prin sistemul solar, care-și petrece — să zicem — doi ani din viață în nava cosmică și se reîntoarce pe Pămînt la o vîrstă egală aceleia a nepoților săi! Ne grăbim să spunem că, pentru ca să realizeze un asemenea decalaj de vîrstă într-un interval de timp atît de scurt, nefericitul de astronaut ar trebui să suporte niște accelerații cu adevărat înspăimîntătoare.

Să transpunem toate acestea în spațiul ordinar. Presupunem că două automobile identice, H și H', conduse de doi frați gemeni, pleacă din Dunkerque (cu indicația 0 la contorul kilometric) și se îndreaptă spre Perpignan, primul pe ruta directă, iar cel de-al doilea de-a lungul coastei Atlanticului și a Pirineilor. Atunci cînd se reîntîlnesc la Perpignan, primul a îmbătrînit, după contor, cu 1 000 km, iar cel de-al doilea — să zicem — cu 3 000 km. Dacă cel de-al doilea gemen parcurge distanța Dunkerque—Perpignan (pe ruta atlantică) nu în automobil, ci într-o navă cosmică, fiind supus accelerațiilor, atunci la sosire el va fi mai tînăr decît fratele său rămas pe Pămînt. Aceasta din cauză că, datorită semnului din ds^2 relativist, la traiectoriile de gen temporal coarda este mai lungă decît arcul. Acesta este fenomenul „călătorului lui Langevin“ sau al „paradoxului gemenilor“, cum este numit în țările de limbă engleză.

Scanned with OKEN Scanner

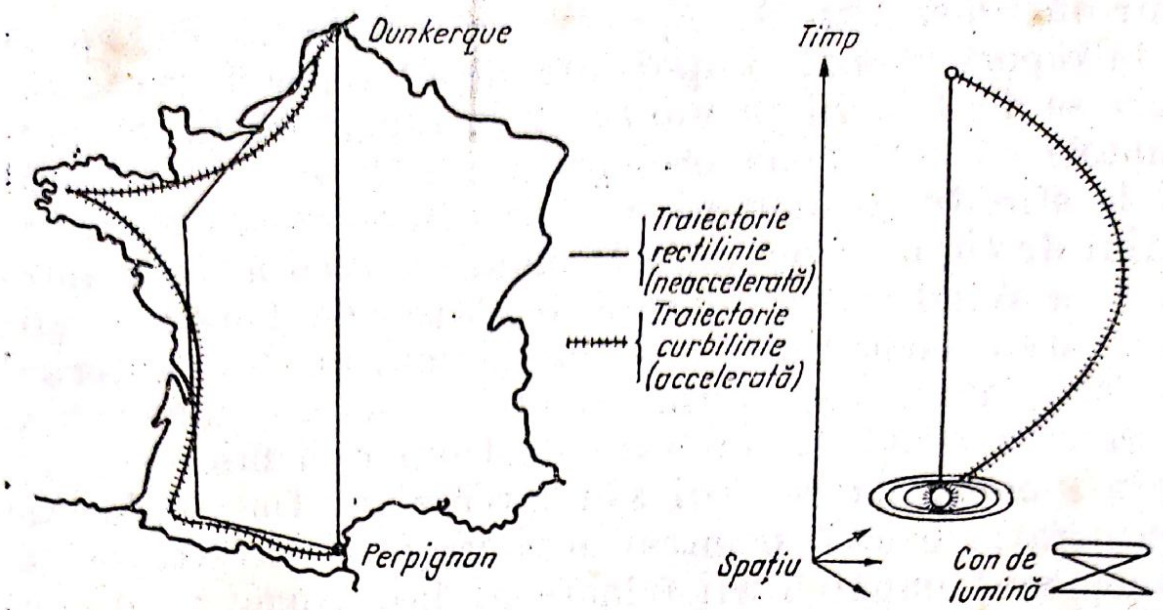


Fig. 10.

Tabelul de corespondență a celor două figuri.

Spațiu euclidian	*Spațiu-timp cvadridimensional*
$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$	$ds^2 = c^2dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2)$
curbă (traiectorie) spațială	traiectorie în spațiu-timp
abscisă curbilinie de-a lungul traiectoriei k	timp (propriu) T_p
kilometraj	timp (după ceasul de mînă al călătorului)

Să revenim însă la cele două orologii ale lui Bergson. Acesta contestă afirmația lui Einstein, fiindcă — spune el — „situația ar fi aceeași dacă orologiul H' ar rămîne imobil, iar orologiul H mai întîi s-ar îndepărta și apoi ar reveni". Se poate vedea în ce constă eroarea: Bergson nesocotește caracterul absolut al accelerațiilor și raţio-

Scanned with OKEN Scanner

nează după o cinematică ce admite vechiul principiu al mișcării relative, pe care atît dinamica clasică, cît și cinematica nouă (de data aceasta în deplin acord) îl resping pentru a pune în locul lui principiul relativității restrînse.

În spațiu-timp, totul se lămurește. Orologiul H descrie o dreaptă de gen temporal, iar orologiul H' o linie frîntă care întretaie de două ori dreapta H. Or, datorită semnului minus din ds^2, linia frîntă este mai scurtă decît linia dreaptă. Firește că în spațiul euclidian lucrurile se petrec invers.

Pentru a conchide, voi spune că secolul al XX-lea este secolul spațiu-timpului și că această descoperire reprezintă pentru omenire o treaptă tot atît de determinantă ca și heliocentrismul.

Mecanica ondulatorie, cu constanta ei h, și relativitatea generală, cu constanta c sînt două mari sinteze care extrapolează relativitatea restrînsă, prima spre infinitul mic, iar cea de-a doua spre infinitul mare. Există chiar un foarte frumos argument adus de Einstein și Bohr, care demonstrează necesitatea logică a unei viitoare sinteze dintre relativitatea generală și mecanica ondulatorie[1].

Indiferent de evoluția viitoare, toate problemele de fizică fundamentală, de la atom și pînă la nebuloasă, sînt tratate astăzi în limbaj cvadridimensional, astfel că, de voie sau de nevoie, celelalte discipline ale umanismului vor fi obligate s-o ia și ele pe această cale, ceea ce va modifica perspectiva unui mare număr de probleme.

[1] Argumentarea se bazează pe cea de-a 4-a relație de nedeterminare a lui Heisenberg și are foarte multe puncte comune cu raționamentul pe baza căruia Einstein a dovedit echivalența dintre inerție și gravitație (1911). Mai tîrziu, Einstein a crezut că poate demonstra nevalabilitatea celei de-a 4-a relații de nedeterminare dintre timp și energia corpusculului bazîndu-se pe echivalența dintre energie și masă prevăzută de relativitatea restrînsă, conform căreia emițătorul unui corpuscul poate fi cîntărit înainte și după emisiune. În cazul acesta însă, ar trebui să se țină seama de eroarea pe care o face cititorul balanței, adică de cea de-a 3-a relație de nedeterminare, care se referă la direcția verticală și la variația etalonului de timp datorită deplasărilor după verticală. Procedînd astfel, calculul redă exact cea de-a 4-a relație de nedeterminare. Se manifestă deci în cazul acesta o relație esențială între relativitatea restrînsă, mecanica ondulatorie și relativitatea generală *(N.A.)*.

Scanned with OKEN Scanner

Bibliografie sumară

H. Minkowski — în *Lorentz, Einstein, Minkowski. Das Relativitätsprinzip*, Teubner, Leipzig, 1922.

R. P. Feynman — *The Theory of Positrons* şi *Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics*, în „Physical Review", 76, 1949, p. 749 şi p. 769.

J. L. Synge — *Relativity, the Special Theory*, North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1956.

G. Casanova — *Relativité restreinte*, Berlin, Paris, 1961.

O. Costa de Beauregard — *La notion de temps, équivalence avec l'espace*, Hermann, Paris, 1963.

Idem — *Précis de rélativité restreinte*, Dunod, Paris, 1964.

Idem — *Précis de mécanique quantique relativiste*, Dunod, Paris, 1967.

Scanned with OKEN Scanner

3
Timp şi informaţie în fizica probabilistă

Scanned with OKEN Scanner

Puține certitudini ne domină într-o asemenea măsură viața ca aceea a îmbătrînirii noastre inevitabile. Puține ne domină într-atîta acțiunile ca distincția pe care o facem între trecut și viitor. Cel de-al doilea principiu al științei timpului se referă la sensul de scurgere al acestei entități.

Ce impune universului să trăiască de la trecut spre viitor? Este o întrebare care poate că ar fi mai bine s-o înlocuim cu următoarea: ce-l face pe om să trăiască de la trecut spre viitor?

Răspunsul este simplu, dar nu evident. De fapt, sensul în care se desfășoară evoluția nu este legat — prin cel de-al doilea principiu al termodinamicii — de variația entropiei universului, adică de evoluția spre stări din ce în ce mai probabile[1], dar care ar putea fi înlocuită printr-o evoluție de sens opus. El este legat de necesitatea pentru orice sistem viu al interacțiunii cu restul cosmosului, ceea ce presupune și include obținerea informației necesare[2].

Costa de Beauregard demonstrează în acest capitol două adevăruri paradoxale, dar legate între ele, anume că ireversibilitatea este de fapt instituită ca principiu al fizicii și că în universul „nostru" predicția — prevederea viitorului — este adesea infailibilă statistic, în timp ce retrodicția — restabilirea trecutului — este, în sensul strict al cuvîntului, imposibilă. La urma urmelor, evoluția devine ireversibilă din cauză că fiecare sistem trebuie în mod necesar să interacționeze cu ansamblul universului. Pentru a înțelege acest lucru, ar fi destul

[1] În legătură cu entropia, vezi *Anexa*, p. 200 *(N.E.)*.

[2] Orice obiect sau fenomen se află în interacțiune cu celelalte obiecte și fenomene din lumea înconjurătoare. Formularea de mai sus rupe în mod artificial problema direcției în care se desfășoară evoluția ființelor vii de problema generală a evoluției universale, legată de problema generală a ireversibilității timpului. A se vedea, în legătură cu aceasta, punctul de vedere foarte interesant, exprimat de R. Lennuier în concluzia la articolul său *Ideea de timp în fizica modernă* (care nu limitează cîmpul vizual la ființele vii): *„Creșterea entropiei sau ireversibilitatea timpului nu fac altceva decît să reprezinte evoluția, care se desfășoară într-un mod ineluctabil cînd privește un număr imens de fenomene elementare*, adică atunci cînd din domeniul microfizicii trecem din nou în acela al fizicii clasice" *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

să ne gîndim la un exemplu cît se poate de simplu: la soarta unei picături de cerneală căzută într-un pahar cu apă. Este însă necesară, de asemenea, și, poate, neapărat necesară, o analiză a condițiilor vieții și acțiunilor noastre.

Lucrul acesta l-au făcut Brillouin și diverși specialiști în diferitele teorii ale informației, discipline care nu trebuie confundate între ele și a căror sinteză nu este încă elaborată definitiv, dar ale căror concluzii se îndreaptă toate în același sens, întîlnindu-se cu intuiția noastră cea mai profundă.

A trăi implică a acumula informație. Din acest punct de vedere, legea lui Shannon afirmă că cantitatea de informație (variabilă de la un sistem la altul și de la un canal la altul) susceptibilă de a fi comunicată și însușită este întotdeauna limitată și că această limită este proporțională cu durata scursă:

$$\Delta I \leqslant \Delta k \Delta t.$$

Această relație leagă două din bunurile noastre cele mai prețioase: timpul și informația. Este necesar în primul rînd să ne însușim informațiile cele mai precise, cele care amplifică cel mai mult posibilitățile noastre, neglijînd informațiile parazite pe care avem tendința destul de accentuată de a le acumula în mod inutil. Problema este dificilă, chiar dacă nu ne-am referi decît la faptul că nimeni n-a reușit să definească valoarea subiectivă a unei informații. Informația: „A murit francezul cu numărul de identificare națională X, XX, XX, XXX, XXX, XXX“ ne oferă oare aceeași cantitate de informație dacă compatriotul respectiv este soția noastră, dacă este cutare ministru sau dacă este o persoană despre care nu știam nimic pînă ieri?

Desigur că cuvîntul „informație“ acoperă mai multe realități diferite. Una din ele, în sensul lui Fisher, se referă la incertitudinea care poate să existe atunci cînd s-au făcut mai multe experiențe privitoare la aceeași populație; aceea a lui Shannon privește cantitatea de mesaje distincte susceptibile de a fi comunicate printr-un canal fizic bine definit, de exemplu prin organele noastre senzoriale; în fine, cea din urmă, aceea a lui Brillouin,

Scanned with OKEN Scanner

este legată mai direct cu modalitățile prin care interacționăm cu lumea. **Sinteza acestor trei teorii se dovedește anevoioasă și n-a fost realizată încă în întregime.** Ea ar putea să fie una din operele esențiale care urmează să fie elaborate de gîndirea științifică a generației viitoare.

Ne vom mulțumi să remarcăm aici că fiecare din aceste teorii are drept consecință limitarea cantității de „cunoștințe" susceptibile de a fi comunicate, însușite sau utilizate în decursul unei durate determinate, în special de la originile omenirii și pînă în zilele noastre. **Nu este deci absurd să definim durata ca fiind proporțională cu cantitatea maximă de informație primită.** *Așa cum arată teoriile statistice, posibilitățile noastre de acțiune depind de ceea ce știm sau presupunem că știm despre univers. Nu-i, așadar, nelogic să afirmăm că potențialul nostru creator se mărește cu timpul, idee care stă la baza teoriilor evolutive.* **În felul acesta se explică de ce istoria sau, mai exact, istoria vieții aduce o ordine nouă în creația originală, ale cărei potențialități latente le dezvoltă în mod neîndoielnic.**

Însă abordînd aceste subiecte, depășim cadrul lucrării de față.

Scanned with OKEN Scanner

Cel de-al doilea principiu al ştiinţei timpului

O. COSTA DE BEAUREGARD
Şef de cercetări la C.N.R.S.

Problema ireversibilităţii timpului este desigur una din cele mai fascinante. În ordinea socială şi în cea spirituală ea este, poate, între problemele ştiinţifice, aceea care ne priveşte cel mai îndeaproape. De cîte ori n-a trebuit să deplîngem dubla imposibilitate de a repara trecutul şi de a cunoaşte viitorul, atunci cînd a fost vorba de anumite acţiuni concrete? De asemenea, în materie de realizări tehnice, cine n-a auzit de doleanţele inginerilor în legătură cu viscozitatea, rezistenţa la înaintare, pierderile prin radiaţie, scăpările de toate felurile şi degradarea energiei prin transformarea ei în căldură[1]? Fuga timpului a fost exprimată cîteodată de către poeţi cu accente sfîşietoare: „O, timp, opreşte-ţi zborul!“ Înţelepţii, în schimb, ne-au atras cu perseverenţă atenţia asupra faptului că această uzură dezolantă este reversul unei medalii cu avers strălucitor: dacă ştim să ne servim de neobositul curent al timpului ce trece, nimic nu este imposibil; nu este progres — oricît de frumos ni l-am

[1] Fenomenele enumerate mai sus se caracterizează, conform celui de-al doilea principiu al termodinamicii, prin ireversibilitate, pe care autorul o leagă de ireversibilitatea timpului *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

imagina — în care să nu putem nădăjdui. O imagine grăitoare a acestui progres o avem în realizările surprinzătoare la care a condus evoluția vieții sau în realizările ontogenezei biologice ce se produc zilnic sub ochii noștri.

Este însă timpul să coborîm de pe aceste înălțimi și să analizăm împreună diferitele aspecte ale timpului fizicii, în care este încorporat atît de profund timpul nostru, al oamenilor.

Ireversibilitatea nu este dedusă, ci postulată atît de termodinamică, cît și de mecanica statistică

Dacă, încercînd să demonstrăm teorema lui Carnot, am postula că în decursul unei transformări monoterme se absoarbe căldură și se produce lucru mecanic, precum și că, atunci cînd două termostate sînt puse în contact, căldura trece de la cel mai puțin cald la cel mai cald, toate enunțurile pe care le-am deduce ar fi inversate ca sens. Ne-am trezi în acel univers paradoxal, conceput în special de Flammarion și Poincaré, în care două temperaturi inițial de nedeosebit între ele ar începe să se diferențieze, fără să putem prezice care urmează să crească și care să scadă. Viscozitatea ar accelera mersul mașinilor în loc să-l încetinească, mobilii în stare de repaus ar porni în direcții sau pe traiectorii imprevizibile. Într-un asemenea univers ar fi cu neputință nu numai previziunea, ci și acțiunea: cele mai cumpătate dintre gesturile noastre ar declanșa consecințe uriașe, incalculabile. Desigur că degradarea energiei sub toate formele ei îi costă scump pe ingineri, însă începem să ne dăm seama că, percepînd acest impozit, universul veghează asupra securității noastre: datorită lui putem fi siguri că după toate furtunile (chiar după cele provocate de noi) va domni iarăși liniștea.

Despre acest univers paradoxal conceput de el, Poincaré spunea că ar fi un univers fără legi. Adevărul este că universul lui n-ar avea legi cauzale, ci, poate, legi finale. În timp ce în universul nostru familiar predicția

Scanned with OKEN Scanner

statistică este infailibilă (cu excepția fenomenelor biologice și psihice), în universul paradoxal legea generală ar fi, dimpotrivă, retrodicția (proces simetric în timp cu acela de predicție), în vreme ce predicția ar fi imposibilă.

Predicție statistic infailibilă, retrodicție imposibilă

Să remarcăm acest fapt uimitor că în universul nostru fizic retrodicția este, în sensul strict al cuvîntului, imposibilă.

Afirmația este în aparență îndrăzneață: evenimentele trecute, înregistrate în modul cuvenit, nu sînt prin definiție fapte bine stabilite? În realitate, orice retrodicție se bazează în esență pe fenomenul memoriei psihologice. Într-adevăr, memoria este indispensabilă chiar atunci cînd este vorba de fapte înregistrate cu minuțiozitate în arhive, fiindcă ea este aceea care conține sub formă de tradiție cheia interpretării documentelor. Dacă am suprima memoria sau intuiția, care ne dă cheia citirii urmelor trecutului, retrodicția ar deveni o artă a prezumțiilor hazardate.

— Văd pe lac o dîră de apă și conchid că a trecut pe acolo o navă. Pentru a-mi imagina formele posibile ale navei nu mă pot adresa însă decît cunoștințelor și amintirilor mele, cu riscul de a face o greșeală considerabilă dacă am venit din altă țară. Dimpotrivă, nimeni nu se va înșela afirmînd că dîra va dispărea peste cinci minute.

— Un obuz, un avion sau un automobil explodează. Ne este imposibil să calculăm cu exactitate starea de lucruri anterioară exploziei, adică să reconstituim cu exactitate obiectul.

— Descopăr un obiect preistoric. Nimic nu mă poate ajuta să ghicesc forma lui trecută sau nici măcar caracterul lui de unealtă confecționată, decît înțelegerea, pe deasupra mileniilor, a oamenilor și a condițiilor de viață și o oarecare analogie între problemele acestui frate îndepărtat și problemele mele.

Scanned with OKEN Scanner

— Cei mai mari specialiști ai mecanicii cerești continuă să discute despre originea sistemului solar, despre care știu totuși destul de exact cum are să evolueze, și aceasta din cauză că firmamentul, care expune cu dărnicie privirilor noastre nebuloasele, le mai ascunde încă istoria naturală a sistemelor planetare.

S-ar mai putea da și multe alte exemple. Deocamdată vom trage concluzia că în cosmosul material *retrodicția este, în sensul strict al cuvîntului, imposibilă, în timp ce predicția este statistic infailibilă.*

A apărut astfel cuvîntul-cheie, **statistica.** El exprimă o noțiune esențială pentru întreaga fizică modernă. Cu ajutorul acestui concept și al conceptului geamăn de **informație,** analizat de către cibernetică, pătrundem în miezul problemelor ireversibilității fizice. Din acest punct de vedere, cercetătorii internaționali subliniază din ce în ce mai mult importanța principiului lui Bayes.

Bayes și problema cercetării cauzelor[1]

Mai multe „cauze" (C_1, C_2...) sînt — sau au fost — capabile să producă evenimentele (E_1, E_2, E_3,...). Se constată că evenimentul care s-a produs de fapt este, de exemplu, E_1. Se poate aprecia care din „cauze" a acționat în modul cel mai probabil?

Vom înțelege mai bine natura problemei folosind un exemplu dat de Poincaré. Jucați cărți — să zicem „ecarté" — cu un adversar despre care nu știți dacă trișează sau nu și care scoate chiar de prima dată un rege (carte cîștigătoare). A trișat? Analiza se face introducînd următoarele *probabilități condiționate*:

$P(R/T)$ = probabilitatea ca un trișor să tragă un rege (stabilită de Poincaré, oarecum abuziv, ca egală cu 1. Păstrăm această valoare, care simplifică într-o anumită măsură calculele, fără să joace un rol fundamental).

[1] Vezi, în *Anexă*, p. 201, o explicație mai amănunțită a teoremei lui Bayes și a interpretării ce i se dă aici *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

$P(R/H)$ = probabilitatea ca un jucător cinstit să tragă un rege („cinstit" este, prin definiție, $P(R/H) = 4/32 = 1/8$, fiindcă în 32 de cărți avem 4 regi, a căror ieșire este presupusă echiprobabilă).

Este ușor de arătat că schema nu este completă și că trebuie să mai conțină, de exemplu, parametrul t_1, numit *probabilitate a priori* ca adversarul să fie trișor. Știind că adversarul a cîștigat chiar de prima dată, probabilitatea $t_2 = P(T/R)$ ca adversarul să fie trișor *(probabilitate a posteriori)* este

$$t_2 = \frac{8t_1}{1 + 7t_1}.$$

Așa cum era de așteptat, $t_2 \geqslant t_1$; ($t_2 > t_1$ dacă $t_1 \neq 0$).

Cu alte cuvinte, experiența însușită nu ne oferă nici o certitudine și nu poate face altceva decît să ne modifice cîmpul de probabilitate ($t_2 \neq t_1$).

Fiindcă t_1 este mare, iar t_2 apropiat de t_1, n-ar trebui să avem aproape nici o încredere în adversar. Pentru $t_1 = 1/2$, avem $t_2 = 8/9$, adică aproape certitudinea. (Valoarea 1/2 a fost propusă de Poincaré pentru a evidenția și mai mult paradoxul. Ar trebui însă ca cineva să fie nebun sau constrîns să facă acest lucru, pentru ca să joace cu un adversar despre care se știe cu o probabilitate de 1/2 că este trișor).

Pentru cazul general, și presupunînd că numărul cauzelor C_i și al evenimentelor E_j este finit, formula lui Bayes se scrie:

$$P(C_i/C_j) = \frac{P(E_j/C_i) \cdot P[(\text{a priori})C_i]}{\Sigma_i P(E_j/C_i) \cdot P(C_i)}$$

$P(C_i / E_j)$ = probabilitate a posteriori a cauzei C_i știind că a intervenit evenimentul E_j

$P(E_j / C_i)$ = probabilitate ca cauza C_i să aibă drept efect evenimentul E_j (cunoscînd bine, sau măcar puțin, fenomenele).

Retrodicția nu se poate face deci decît cunoscînd probabilitățile a priori, ceea ce presupune existența prealabilă a unei anumite retrodicții pe care cunoașterea prezentului nu face decît să o precizeze.

Scanned with OKEN Scanner

Formula precedentă nu este simetrică în $P(C_i/E_j)$ și $P(E_j/C_i)$ și nu devine simetrică decît admițînd că toate probabilitățile sînt egale a priori (ipoteză care — datorită exemplului dat — s-a dovedit a fi stupidă). În cazul acesta, problema retrodicției devine exact simetrică cu problema predicției (retrodicția „oarbă" a lui Watanabe). Problema noastră este deci aceea a inegalității coeficienților lui Bayes, adică a disimetriei de fapt dintre predicție $P(E_j/C_i)$ și retrodicție $P(C_i/E_j)$.

Or, coeficienții aceștia, care au fost evaluați independent de dinamica internă a sistemului studiat, nu sînt în definitiv altceva decît *un mod de a reprezenta interacțiunea sistemului cu restul universului*, interacțiune pe care o putem ignora practic atunci cînd privim spre viitor, însă pe care ne este cu totul interzis s-o uităm atunci cînd încercăm să ne întoarcem la cauze.

Mecanica statistică și retrodicția

Se pune, așadar, întrebarea de ce interacțiunea dintre un sistem parțial și întregul univers poate fi atît de ușor neglijată atunci cînd privim spre viitor și este în schimb atît de indispensabilă cînd vrem să studiem trecutul (îngreuind astfel studiul trecutului, căci nu putem avea niciodată informații suficient de exacte și de numeroase asupra întregului univers)? Răspunsul urmează să ni-l dea epistemologia mecanicii statistice.

Nu este nevoie să recurgem în acest scop la concepțiile foarte elaborate pe care le conțin diferitele versiuni moderne ale demonstrației teoremei lui Boltzmann din mecanica statistică (creșterea entropiei); procedînd astfel, am complica prea mult expunerea, fără să-i adăugăm nimic esențial.

Ne vom mulțumi de aceea cu un exemplu simplu, împrumutat și de data aceasta de la Poincaré. Acesta analizează problema repartiției cvasiuniforme pe o orbită comună a unor mici planete. Pentru a simplifica problema, se consideră că orbita este circulară, că micile planete sînt în număr infinit și nu interacționează între

Scanned with OKEN Scanner

ele. Să presupunem că a este viteza unghiulară medie, b poziția unghiulară inițială a unei mici planete, iar $f(a,b)$ densitatea distribuției corespunzătoare punctului (a,b). Poincaré observă că în acest caz oricare ar fi funcția $f(a, b)$, presupusă continuă în a, expresia

$$M(t) = \iint_{-\infty}^{+\infty} e^{(at+b)} f(a,b)\,da\,db$$

tinde spre zero atunci cînt t tinde spre infinitul pozitiv. Rezultă de aici, de exemplu, că oricare ar fi legea dezintegrării inițiale a unei planete mari, distribuția micilor planete reziduale va tinde să fie uniformă. Este evident că prin generalitatea lui rezultatul acesta îl satisface pe Poincaré.

Dar dacă variabila t tinde spre infinitul negativ, $M(t)$ tinde tot spre zero. Trebuie să tragem din asta concluzia că planeta mare, observată la momentul zero, s-a născut prin acumularea unui roi omogen de planete mici existente în trecutul îndepărtat? Evident că nu. Paradoxul acesta n-are nici o altă soluție decît următoarea regulă de aplicare stabilită odată cu mecanica statistică: *mecanica statistică este elaborată pentru a fi aplicată fără nici o rezervă în predicție și de aceea este interzis să fie aplicată orbește în retrodicție.*

Ireversibilitatea, analizată în toate amănuntele de către mecanica statistică, rezidă tocmai în această recomandare și în nimic altceva. Departe de a fi dedusă, ireversibilitatea este pusă ca principiu la baza însăși a acestei discipline. Ne mai rămîne acum să analizăm semnificația fizică a acestei reguli consacrate.

Mecanica statistică deduce legea entropiei crescînde din principiul acțiunilor întîrziate

Prin cele de mai sus am exprimat de fapt ideea următoare: configurația puțin probabilă pe care o admitem pentru momentul inițial ca bază pentru studiul evoluției ulterioare a sistemului nu rezultă niciodată din evoluția naturală anterioară a acestuia. Să ne reamintim că în legătură cu *sistemele cu număr finit de grade de libertate*

Scanned with OKEN Scanner

există „teorema revenirii“ a lui Poincaré, care stabilește că un sistem trece din nou, de o infinitate de ori și în mod arbitrar de apropiat, prin orice configurație pe care a traversat-o vreodată. În virtutea acesteiteoreme, o picătură de cerneală, de exemplu, introdusă într-un pahar cu apă în care ea s-a împrăștiat, ar trebui, după trecerea unui timp foarte îndelungat, să se concentreze din nou. Firește că un asemenea fenomen n-a fost observat niciodată. Răspunsul este evident acesta: conținutul paharului este într-o interacțiune slabă cu restul universului, astfel că nu se poate spune că avem de-a face cu un sistem avînd un număr finit de grade de libertate.

Să analizăm însă lucrurile mai îndeaproape. În realitate, configurația puțin probabilă[1] pe care o admitem pentru momentul zero este întotdeauna rezultatul interacțiunii dintre sistemul studiat și un alt sistem, interacțiune care practic încetează la momentul zero: fizicianul (factor exterior) este cel care introduce cu o pipetă picătura de cerneală în paharul cu apă; planeta mare, aflată în echilibru labil, este aceea ce urmează să se sfărîme dintr-o dată; piatra care cade în lacul liniștit este aceea ce produce trenul de unde divergente prin care-și dispersează energia.

Exemplele acestea nu fac altceva decît să ilustreze în diferite feluri principiul acțiunilor întîrziate[2]. Să presupunem că două sisteme, separate mai înainte, intră puternic în interacțiune în decursul unui anumit interval de timp și se separă apoi din nou. Este un lucru știut că sfîrșitul interacțiunii face ca fiecare din cele două sisteme să intre într-o stare puțin probabilă, care este începutul unei evoluții, dar că începutul interacți-

[1] O stare *improbabilă* sau *puțin probabilă* coincide cu ceea ce în mecanica statistică se numește starea *microscopică* a sistemului (vezi prefața). O astfel de stare este întîmplătoare, în sensul că legea de evoluție prevede doar starea globală (termodinamică) a sistemului *(N.E.)*.

[2] Principiul acțiunilor întîrziate este expresia faptului că un fenomen dat poate influența desfășurarea doar a fenomenelor ulterioare, sau, mai exact, doar pe acele fenomene care se află în interiorul conului de lumină viitor (vezi primul articol al lui O. Costa de Beauregard din prezenta culegere).

Scanned with OKEN Scanner

unii nu găsește sistemele într-o stare puțin probabilă care ar reprezenta punctul final al unei evoluții. Atunci cînd un meteorit traversează atmosfera terestră, produce în ea o undă balistică și calorică divergentă, dar nu șterge o undă convergentă apărută anterior. De asemenea, dacă se deplasează un element de perete al unui recipient conținînd un gaz în echilibru termic, distribuția vitezelor după legea lui Maxwell este modificată după, și nu înaintea acestei operații.

Sîntem astfel conduși spre dubla idee că:

— legea acțiunilor întîrziate nu este substanțial diferită de legea entropiei crescînde și că

— legea acțiunilor întîrziate este ea însăși o lege pur statistică, astfel că încetează pur și simplu să se aplice fenomenelor elementare individuale.

Meditînd asupra acestor idei, ajungem la convingerea că nu există nici o dovadă obiectivă în favoarea existenței unei legi a acțiunilor întîrziate care ar putea fi aplicată fenomenului individual. Ba chiar, în mecanica cuantică găsim argumente pozitive în favoarea unei simetrii viitor-trecut a interacțiunilor individuale.

Reciproc, legea acțiunilor întîrziate poate fi dedusă din principiul entropiei crescînde

Să reluăm una din perechile de sisteme care interacționează între ele și despre care am vorbit mai sus. Interacțiunea lor momentană are un rezultat, și anume: dacă am evalua, în sistemul de referință legat de centrul de greutate, energiile cinetice ale elementelor lor componente, am constata că după interacțiune ele sînt mai apropiate de echipartiție decît erau înainte. Într-adevăr, traversînd atmosfera terestră, meteoritul este frînat, nu accelerat.

Din scurta analiză precedentă tragem concluzia că cele două principii, al entropiei crescînde și al acțiunilor întîrziate, pot fi deduse în mod arbitrar unul din altul (fiind deci echivalente unul cu altul) și sînt prin esență de natură macroscopică și statistică. Rezultă în special că principiul acțiunilor întîrziate nu se aplică fenomenelor elementare individuale.

Scanned with OKEN Scanner

Explicația finală a ireversibilității trebuie căutată la scara universului în ansamblu. Expresia ei matematică este o condiție la limită pentru universul luat în ansamblu.

Din ansamblul expunerii de mai sus rezultă că investigarea originii ultime a ireversibilității ne impune întotdeauna să includem un sistem parțial într-un sistem mai extins, astfel că, trecînd în mod alternativ de la principiul acțiunilor întîrziate la acela al entropiei crescînde, vom fi conduși pînă la universul luat în totalitatea lui. Această operație este riguros opusă celei folosite în mod obișnuit în fizică, situație ce n-ar putea fi exprimată mai bine decît afirmînd că originea ireversibilității nu trebuie căutată pe tărîmul legilor elementare. Faptul că toate evoluțiile parțiale prezintă aceeași orientare bine cunoscută se datorește inevitabilei influențe pe care ele o suferă din partea evoluției universului în ansamblu. Avem de-a face cu exemplul, foarte rar în fizică, al unei acțiuni coercitive exercitată de întreg asupra părților sale.

Se poate afirma deci că toate echilibrele metastabile și toate ciocnirile „fortuite" dintre sistemele care mai înainte „se ignorau" unul pe altul sînt extrase dintr-o prodigioasă rezervă de situații puțin probabile pe care le mai tăinuiește încă universul. Le-am putea compara cu niște fosile ale unei stări originare, uimitor de improbabilă, a întregului univers, conservate în decursul timpului, sau cu niște reproduceri ale exploziei inițiale la care asistăm cu ocazia unor anumite focuri de artificii cerești. Evoluția spațio-temporală a întregului univers are drept imagine o cascadă gigantică, divergentă la nesfîrșit. De aceea, ireversibilitatea universală nu poate avea altă definiție decît următoarea: pe o anumită hipersuprafață[1] (de gen spațial) starea universului este dată ca extrem de improbabilă.

[1] Ansamblul tuturor fenomenelor care sînt simultane față de un anumit sistem de referință inerțial sînt separate de intervale de gen spațial în orice alt sistem de referință inerțial. În limbajul cvadridimensional al teoriei relativității se spune că un asemenea ansamblu este situat pe o *hipersuprafață de gen spațial (N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

Echivalența dintre cele două principii, al entropiei crescînde și al acțiunilor întîrziate, în teoria undelor cuantificate

Știm astăzi că mecanica fundamentală nu este mecanica newtoniană, ci mecanica ondulatorie, astfel că, de-acum înainte, mecanica statistică trebuie așezată pe această bază.

Însă în acest nou cadru, rezultatul la care am ajuns cu ajutorul unei laborioase analize epistemologice (adică stabilind echivalența dintre principiul entropiei crescînde și al acțiunilor întîrziate) poate fi obținut imediat.

Din celebra demonstrație a lui J. von Neumann rezultă că procesul de măsurare cuantică este ireversibil, în sensul că dacă se postulează că undele cuantificate macroscopice sînt întîrziate (divergente), atunci în decursul execuției unei măsurători ar urma să se aplice legea entropiei crescînde. Principiul undelor întîrziate se aplică în acest caz intervalelor de timp care separă două măsurători, iar legea entropiei crescînde intervalului de timp ocupat de fiecare măsurătoare. Dimpotrivă, dacă s-ar postula existența macroscopică a undelor cuantificate avansate (sau convergente), atunci s-ar obține legea descreșterii entropiei. Ne-am găsi în acest caz în universul paradoxal al lui Flammarion și Poincaré.

Exigențele teoriei relativității și cele ale ciberneticii

Acum, cînd întreaga fizică, de la microfizică la astrofizică, a devenit relativistă, ne sînt riguros interzise două concepții tradiționale. Prima concepție este aceea a separării evenimentelor în două clase, a celor „deja realizate" și a celor „încă nerealizate". Ea ne este interzisă de faptul că fiecare observator nu mai decupează spațiu-timpul relativist în două regiuni, așa cum făcea altădată, ci în trei regiuni: „trecutul", „viitorul" și „domeniul inaccesibil". Între două evenimente separate printr-un interval de gen spațial nu mai există o ordine de succe-

Scanned with OKEN Scanner

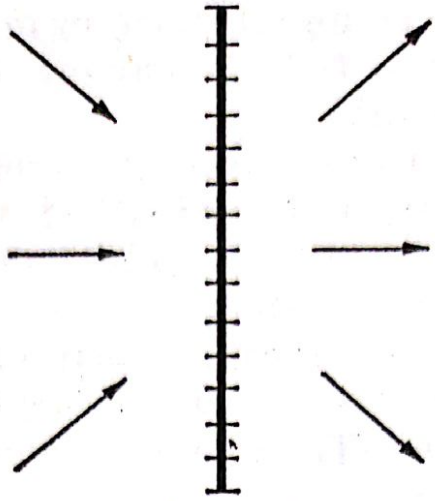


Fig. 11. Experienţa-tip cu reţeaua.

Figura reprezintă imaginea spaţializată a concluziilor la care am ajuns mai înainte. Pe o reţea plană cade perpendicular o „undă de Broglie“ plană, care dă naştere, după cum se ştie, unui număr finit g de unde plane emergente. Nu reducem cu nimic generalitatea expunerii dacă presupunem că probabilităţile reflexiei unui corpuscul incident înspre toate undele plane emergente sînt egale. În aceste condiţii, rezultatul experimental va fi, desigur, acela că toate undele plane emergente vor avea o intensitate egală, adică vor fi ocupate în mod egal. Că lucrurile trebuie să se petreacă aşa rezultă dintr-un raţionament elementar făcut pe baza calculului probabilităţilor de producţie.

Să considerăm acum problema optică a mişcării inverse a undelor. O undă plană emergentă oarecare poate fi produsă de g unde plane incidente. Atunci cînd un corpuscul este inclus într-o undă plană emergentă şi dacă în afara acestui fapt nu mai avem nici o altă informaţie (cu excepţia existenţei şi caracteristicilor reţelei), tot ce putem „retrozice“ este că corpusculul incident a fost purtat cu siguranţă de una din cele g unde plane despre care am vorbit, probabilităţile de retrodicţie fiind toate egale. Şi totuşi se ştie că în domeniul macroscopic ne este imposibil să obţinem un fascicul emergent de particule monocinetice provocînd „amestecul în fază“ a g unde plane de egală intensitate... Cu siguranţă că numai la auzul acestui enunţ spiritul lui Fresnel şi acela al lui Bayes s-ar cutremura...

Exemplul acesta ne arată limpede că în teoria cîmpurilor cuantificate principiul entropiei crescînde şi principiul undelor întîrziate pot fi deduse în mod arbitrar unul din celălalt. În mecanica cuantică, undele întîrziate şi cele avansate sînt folosite respectiv în calculele de predicţie şi retrodicţie. De aceea, este evasievident că excluderea din teoria macroscopică a undelor avansate sau a retrodicţiei „oarbe“ reprezintă unul şi acelaşi lucru, exprimat în două moduri diferite.

Scanned with OKEN Scanner

siune impusă, fapt ce ne interzice în mod riguros să socotim că „viitorul" n-ar fi încă realizat, în vreme ce „trecutul" ar fi deja realizat[1].

Întregul bloc spațio-temporal trebuie considerat ca fiind dat dintotdeauna, invariabil și veșnic. Bineînțeles că această afirmație este valabilă în ce privește atît istoricitatea, cît și contingența, care sînt implicite. Cea mai bună dovadă a ei este însăși existența mecanicii ondulatorii relativiste, *teorie cvadridimensională, prin esență probabilistă* (Tomonaga, Schwinger, Feynman, 1946—1950).

Întrebarea „De ce universul se îndreaptă în timp spre stările lui cele mai probabile și nu vine dinspre ele?", pe care și-o punea chiar un savant ca Poincaré, nu mai are nici un sens în fizica relativistă. *În locul ei sîntem acum în fața problemei următoare*: **„Odată ce spațiu-timpul este de asemenea natură încît continua lui stratificare în hipersuprafețe arbitrare de gen spațial să fie ordonată după valorile monotone ale entropiei, de ce timpul ființelor vii și al ființelor conștiente este obligat să exploreze cea de-a patra dimensiune într-un sens care face ca entropiile să apară drept crescătoare și undele ca divergente, și nu în sens contrar?"**

În multe din expunerile tradiționale ale mecanicii statistice se lasă să se înțeleagă că hazardul n-ar interveni în această teorie decît pe măsura ignorării de către noi a fenomenelor celor mai fine. Această afirmație era, desigur, prea categorică, fiindcă multe din consecințele creșterii entropiei sînt cu certitudine obiective, astfel că în ultima analiză n-ar putea să depindă de o explicație pur subiectivă[2]. „Trebuie deci — spunea limpede Poincaré — ca hazardul să fie altceva decît numele pe care-l dăm ignoranței noastre". Faptul că știm mai mult sau mai puțin exact de unde vine sau unde se duce fiecare foton emis de Soare nici nu stinghерește, nici nu înlesnește radiația acestui astru. Entropia universului merge crescînd, fie că există, fie că nu există un observator

[1] Vezi prefața, p. 11 *(N.E)*.

[2] A se remarca, aici și în continuare, poziția judicioasă a autorului, de respingere hotărîtă a subiectivismului *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

(aceasta înseamnă de fapt că alegerea celulelor care au sens fizic în spațiul fazelor nu este cu totul arbitrară).

După cum a observat L. Brillouin, cibernetica a precizat într-un mod foarte interesant această idee clasică prin faptul că a identificat entropia cu deficitul de informație cu privire la un sistem. Totuși, dovada că acest mod de a pune problema comportă luarea unor importante precauțiuni constă în distincția pe care însuși L. Brillouin este obligat s-o facă între „informația liberă" (sau informația pură, definită arbitrar) și „informația legată" de entropia fizică. L. Brillouin constată că distincția este, desigur, necesară, deși se estompează în bună măsură în anumite cazuri. Faptul acesta, precum și cel, foarte important, că mecanismul fin al retransformării informației în negentropie[1] continuă să rămînă extrem de misterios (fiindcă recurgerea, de exemplu, la pereți perfect rigizi, fără frecare și fără masă, este în mod evident de domeniul fabulei) dovedește că problema nu este încă rezolvată în mod adecvat. Un lucru ni se pare însă sigur a priori: **în cibernetică, ca și în alte domenii, tentația subiectivismului constituie o rătăcire**; *în noțiunea de informație legată trebuie să existe ceva în mod obiectiv ireductibil.*

Admițînd deci că fiecărei stări a universului în ansamblu, reprezentată pe o hipersuprafață de gen spațial, îi corespunde o valoare obiectivă a entropiei, încercăm acum să formulăm un principiu de așa fel încît sensul binecunoscut al timpului biologic și psihologic să rezulte de la sine. Dar abia formulat sub formă de întrebare, *principiul acesta a și fost găsit. El a fost enunțat foarte limpede de L. Brillouin sub numele de „principiul fizic al informației"* și are următorul conținut: *„Într-o experiență macroscopică, sistemul nu poate dobîndi informație (în sens cibernetic) decît pe seama unei negentropii existente, în valoare cel puțin egală".* Și invers. *„Orice informație de care dispune un sistem îi permite să producă o negen-*

[1] Negentropia (măsura ordinii) este entropia luată cu semn negativ; dacă entropia este egală cu S, negentropia este egală cu $-S$; cînd entropia crește negentropia scade *(N.E.)*.

tropie a cărei valoare este cel mult egală cu informația de care dispune".

Principiul pe care-l căutăm devine acum evident: este vorba de un principiu de creștere a informației, de origine experimentală macroscopică, care obligă psihismele încarnate[1] să traverseze hipersuprafețele într-un sens ce face ca entropiile să apară ca crescătoare și undele ca divergente. Explorarea de-a-ndaratelea a celei de-a patra dimensiuni este tot atît de neconceput ca și citirea de la sfîrșit spre început a unui tratat de matematică sau de filozofie. Nu este deci greșit să credem că între viața conștientă (sau „atenția față de viață", ca să vorbim ca Bergson) și gîndirea logică există o foarte mare afinitate de natură, astfel că s-ar putea stabili, în mod paralel, o legătură asemănătoare între viața subconștientă și frunzărirea la-ntîmplare, înainte și înapoi, a unei cărți.

Oricum am privi lucrurile, în cele ce preced n-am făcut altceva decît să reîntîlnim o idee epistemologică formulată de Boltzmann într-o vreme cînd nu erau cunoscute nici relativitatea, nici cibernetica: ființele vii sau conștiente sînt obligate, prin însăși natura lor, să exploreze în sens descendent curba negentropiei universale. Ne instruim prin experiență: este o afirmație banală, dar, poate, extrem de fundamentală. Ea este aceea ce dă un sens constructiv experienței (sau interacțiunilor, cărora, fără încetare și în mod necesar, le dăm un nume) și deci istoriei și vieții noastre sau, mai exact, istoriei și vieții tuturora. Ceea ce ne este dat să dobîndim — și sîntem datori să dobîndim — în felul acesta este însă nu numai informația, ci și înțelepciunea.

Ne întîlnim astfel din nou cu Bergson, în ochii căruia universul trebuie să fie pentru fiecare din noi „o mașină de făcut zei".

De aceea, sarcina de a răsfoi în mod temeinic — prin viața noastră însăși, în totalitatea ei — marea carte a cosmosului nu ne poate lăsa nepăsători. Dimpotrivă.

[1] Autorul înțelege prin aceasta ființele vii sau cele cu activitate psihică mai mult sau mai puțin dezvoltată *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

Bibliografie sumară

H. Reichenbach — *The Direction of Time*, University of California Press, Berkeley, 1956.

G. J. Withrow — *The Natural Philosophy of Time*, Nelson, London, 1961.

A. Grunbaum — *Philosophical Problems of Space and Time*, *Knopf*, New York, 1963.

O. Costa de Beauregard — *Le second principe de la science du temps*, Ed. du Seuil, Paris, 1963.

W. Buchel — *Philosophische Probleme der Physik*, Herder, Freiburg, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

Timpul şi informaţia: concepte probabiliste

J. CLAVIER
Inginer-şef al aviaţiei

Una din descoperirile esenţiale ale fizicii moderne este aceea a legăturii existente între ceea ce se observă, instrumentul cu care se face observaţia şi observatorul însuşi. Cu alte cuvinte, nu ne este îngăduit să separăm următoarele trei elemente: cel observat, cel observant (instrumentul sau canalul prin care se transmite ceva) şi observatorul. Orice experienţă modifică aceste trei verigi, pe care ştiinţa le-a studiat prea multă vreme separat. Relaţiile lui Heisenberg şi întreaga mecanică cuantică sînt, într-un fel, traducerea în termeni ştiinţifici a faptului foarte firesc că ştiinţa pe care o avem despre lume rezultă exclusiv din folosirea instrumentelor noastre de observaţie (fiindcă lumile neobservabile sînt de domeniul imaginaţiei). Este cu totul evident, de asemenea, că lanţul nu se opreşte la instrument, ci la creier, ceea ce înseamnă că observaţia presupune prezenţa omului, fără de care informaţia este de neconceput.

Deoarece nu voim să insistăm aici asupra definiţiei informaţiei dobîndite în decursul unei experienţe, ne vom rezuma să remarcăm că informaţia măsoară oarecum relaţiile dintre om şi lumea care-l înconjoară. Aceste relaţii au un dublu sens: prin observaţie, omul primeşte

Scanned with OKEN Scanner

informație, însă dobîndirea ei este afectată întotdeauna de o perturbare inevitabilă, mai mare sau mai mică, a faptului observat, după natura acestuia, astfel că entropia fenomenului crește. Dimpotrivă, prin acțiune omul organizează lumea, a cărei entropie descrește din această cauză.

Aceste schimburi fundamentale au fost studiate în special de Léon Brillouin și sînt guvernate de principiul negentropiei informației:

$$\Delta S - \Delta I \geqslant 0$$

Relația aceasta implică anume că orice informație este dobîndită ($\Delta I > 0$) cu prețul unei micșorări a organizării lumii ($\Delta S > 0$).

Asemănarea dintre expresia *entropiei* (care este proporțională cu logaritmul — în mod necesar finit, în virtutea regulilor de cuantificare — al stărilor presupuse echiprobabile, prin care poate trece un sistem fizic) și aceea a *informației* (în care intervin, de asemenea, probabilitățile a priori ale diferitelor evenimente ce se pot produce în interiorul unui sistem observat) nu trebuie să ne inducă în eroare. Faptul fundamental ce trebuie constatat este acela că în ambele cazuri probabilitățile joacă un rol la fel de esențial. **Acest fapt face ca noțiunea de informație** (oricum am defini-o, fiindcă știm că sub acest cuvînt se ascund trei teorii, pe care teoreticienii n-au reușit încă să le sintetizeze complet) **să fie un concept probabilist.** De altminteri, același lucru se întîmplă cu toate conceptele fizicii moderne, care este prin esență de natură probabilistă.

Noțiunea de „timp" pare străină de toată această analiză. Și totuși lucrurile nu stau așa: informația, ridicată astăzi la rangul de concept științific și universal, ne poate ajuta să clarificăm în mod deosebit această noțiune. Posibilitatea aceasta ne reține cu atît mai mult atenția cu cît ea se manifestă în domeniul relațiilor dintre om și lumea exterioară, care este tocmai lumea teoriei informației în dezvoltările ei cele mai recente și mai promițătoare.

Informațiile ne parvin într-o ordine bine determinată, adică unele după altele. Se formează astfel o relație de

Scanned with OKEN Scanner

ordine între experienţe, adică între contactele care leagă lumea exterioară cu creierul nostru prin intermediul semnalelor care circulă prin canalele reprezentate de instrumentele noastre, organele noastre senzoriale şi sistemul nostru nervos, ceea ce ne permite să le atribuim un parametru *t* ce se scurge într-un sens determinat, însă nu neapărat în mod uniform, fiindcă deocamdată nu discutăm aici decît despre ordonare şi nu despre măsurători. Se mai impune, de asemenea, o regulă tot atît de fundamentală: mesajele sînt primite după emisiunea lor, astfel că percepţia lor este posterioară fenomenului. Desigur că faptul acesta este o consecinţă a existenţei potenţialelor întîrziate; ne este însă îngăduit să procedăm şi invers, luîndu-l ca definiţie. Ceea ce înseamnă de fapt a ordona după valorile lor crescătoare parametrii ce caracterizează etapele experienţei noastre şi ale transformării acestei experienţe în fapte de conştiinţă. Raportat la observaţie, timpul are un sens unic şi ireversibil şi este definit prin succesiunea informaţiilor primite. Ceea ce nu ştiam este obligatoriu posterior faţă de ceea ce ştim. (Această frază poate da loc, evident , la critici[1], fiindcă limbajul nostru este complet impregnat tocmai de noţiunea vitală de timp, astfel că ne este greu să evităm orice paradox sau tautologie).

Sensul adevărat al timpului se află tocmai aici: există în creier o cantitate crescîndă de informaţii accesibile sau neaccesibile, disponibile sau nedisponibile, iar această cantitate creşte odată cu timpul, sau timpul odată cu informaţia care permite şi condiţionează acţiunea ordonată.

Rezultă deci că — ştiinţific vorbind — este fundamental să considerăm noţiunea de timp ca fiind insepara-

[1] Şi ea merită, într-adevăr, să fie criticată. Unde duce subiectivismul unor afirmaţii de acest fel se poate vedea din următorul exemplu simplu. Descoperirea australopitecului a avut loc abia relativ recent, pe cînd a omului de Neandertal datează de la mijlocul secolului trecut. Conform principiului enunţat mai sus, australopitecul ar trebui să fie „obligatoriu posterior" omului de Neandertal. În realitate, rămăşiţele celui dintîi datează de acum aproximativ 2 milioane de ani, în timp ce cel de-al doilea a trăit numai cu aproximativ 150 de ani în urmă *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

bilă de ființa gînditoare receptivă la informație. Ce-ar putea fi timpul pentru o piatră? Fără îndoială că și ea trece printr-o succesiune de stări, însă nu trebuie să uităm că această succesiune se confundă cu conștiința pe care noi, oamenii, o avem despre piatră, sau — mai exact vorbind — cu înțelegerea de către noi a succesiunii de stări. Pietrele imaginare n-au existență. *Timpul unei pietre este timpul nostru propriu*[1], ceea ce explică

[1] Ca și O. Costa de Beauregard, autorul articolului de față, folosind unele rezultate ale teoriei informației, încearcă să dezvolte o concepție probabilistă a timpului. Dar pe cînd cel dintîi afirmă categoric că „în cibernetică, ca și în alte domenii, tentația subiectivismului constituie o rătăcire" (p.163), J. Clavier, după cum se vede, cedează pe de-a-ntregul acestei tentații. Puternic influențat de Bergson, autorul articolului atribuie noțiunii de timp o accepțiune subiectivă, considerînd-o „inseparabilă de ființa gînditoare receptivă la informație". Pentru el, nu fenomenele obiective, care se desfășoară în spațiu și timp independent de psihicul nostru, nu ordinea și durata lor reală permit și condiționează informația, determinînd ordinea în care ea se stratifică în conștiința noastră, ci dimpotrivă, informația, — adică stările de conștiință legate de ea — permite, condiționează și ordonează acțiunea.

Am văzut una din consecințele acestui mod de a gîndi. Dar autorul merge și mai departe. El afirmă că „observația presupune prezența omului, fără de care informația este de neconceput". Asemenea adepților idealismului subiectiv, care afirmă că lumea se compune numai din senzațiile noastre, că există numai ceea ce este perceput, autorul declară că lumile „neobservabile" sînt „de domeniul imaginației" și, în continuare, că pietrele „imaginare" (adică cele pe care nu le observăm direct) „n-au existență". El declară că „timpul unei pietre este *timpul nostru* propriu", deși această piatră în starea ei actuală este rezultatul unui proces obiectiv care a durat multe milioane de ani, și cu toate că vîrsta ei poate fi determinată prin metode riguroase.

Așadar, să trecem erele geologice în rîndul produselor imaginației? Și dacă nu, dacă admitem că ele au avut o existență obiectivă, nu trebuie să recunoaștem totodată că existența și succesiunea lor s-a desfășurat într-un spațiu-timp obiectiv, încă cu mult înainte de apariția oricărui „psihism incarnat"? Mărturisirea autorului despre „amețeala ce ne cuprinde cînd ne gîndim la erele geologice" decurge în mod firesc din negarea timpului obiectiv „al unei pietre" — citește: „al naturii". De altfel, încă din 1909 Lenin, în lucrarea sa *Materialism și empiriocriticism*, punînd degetul pe rană, sublinia că tocmai întrebarea atît de simplă: „A existat oare natura înaintea omului?" le face sînge rău filozofilor subiectiviști *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

poate mai bine decît orice ameţeala ce ne cuprinde cînd ne gîndim la erele geologice. Dar piatra nu trăieşte, ea nu primeşte informaţii. Noi sîntem aceia care îi reconstruim istoria, pe care o reperăm în raport cu succesiunea informaţiilor primite prin experienţă sau tradiţie.

Am putea îndrăzni chiar să spunem că îmbătrînirea biologică sau ritmul inimii noastre este în noi ceva „mecanic". Desigur că viaţa este fluxul de sînge sau schimburile dintre celule. Înainte de toate însă, viaţa constă în dobîndirea de informaţii, operaţie prin care se efectuează percepţia şi se îmbogăţeşte experienţa noastră. Acesta este fenomenul care conferă semnificaţia fundamentală a timpului.

Există o limitare superioară a vitezei oricărui transfer de informaţie, iar cantitatea I de informaţie primită nu poate creşte decît cu o viteză mărginită dată de următoarea formulă datorată lui Shannon:

$$\frac{dI}{dt} \leqslant C = K \log(1 + S/Z)$$

în care K este o constantă ce depinde de canalul transmiţător, iar S/Z raportul semnal / zgomot, limitat în mod necesar în sens crescător, fiindcă intensitatea semnalului nu poate fi infinită, iar intensitatea zgomotului nu poate fi nulă.

Formula de mai sus se bazează pe analiza modurilor de transmisie a unui semnal şi în special pe faptul că informaţia transmisă nu este niciodată pură, ci afectată de semnale parazite datorate mai ales influenţei agitaţiei termice asupra suporturilor materiale ce intervin într-un moment sau altul. (La zero absolut agitaţia termică încetează şi odată cu ea şi zgomotul. La aceeaşi temperatură încetează însă şi semnalele). Faptul că informaţia este însoţită de zgomot nu este un accident, fiindcă posibilitatea transmiterii informaţiei nu poate fi separată de existenţa unui suport material supus în mod inevitabil şi altor acţiuni. Fenomenul acesta limitează însă, întotdeauna, cantitatea de informaţie, datorită dificultăţii de a face distincţia între două stări foarte învecinate atunci cînd diferenţele sînt de ordinul

Scanned with OKEN Scanner

de mărime al zgomotului. În ceață putem distinge siluetele, dar nu le putem identifica.

Legea lui Shannon nu exprimă altceva decît faptul că creșterea cantității de informație este limitată în mod exclusiv de doi factori: zgomotul ce însoțește informația și specificul mediului pe care ea îl traversează, specific ce caracterizează o anumită inerție numită în radioelectricitate bandă de trecere. Cu alte cuvinte, în legea creșterii cantității de informație intervine pe de o parte intensitatea semnalului și a zgomotului, iar pe de altă parte coeficientul caracteristic al mediului.

În rezumat, cantitatea de informație transmisă este întotdeauna finită, iar creșterea ei este limitată de un parametru proporțional cu timpul scurs. Formula este următoarea:

$$\Delta t \geqslant C^{-1} \Delta I$$

în care C depinde de canal.

Din cele de mai sus rezultă o nouă cale de abordare a mărimii „timp", care apare în acest mod legată de conceptele teoriei informației. (Legea lui Fisher conduce la concluzii similare: precizia maximă a unei estimații normale este proporțională cu numărul experiențelor făcute și deci cu durata observației). **În felul acesta, timpul devine o noțiune de ordin probabilist, ca și celelalte concepte de bază ale fizicii contemporane.**

Scanned with OKEN Scanner

4
Ideea de timp în microfizică

Scanned with OKEN Scanner

O dată ce timpul este, în ultimă analiză, un concept de ordin statistic (lucru ce pare să decurgă din expunerile precedente) înseamnă că el nu poate fi definit și măsurat decît în raport cu un sistem, **fiindcă nu se poate vorbi de probabilitate decît atunci cînd avem de-a face cu un ansamblu.**

Această constatare pune două probleme: aceea a concordanței timpilor definiți de orologii diferite sau, cu alte cuvinte, de către sisteme diferite, și aceea a posibilității de a defini timpul pe baza unui ansamblu cu un efectiv foarte redus sau chiar pe baza unei singure particule.

Nu vom relua analiza primei probleme, fiindcă în capitolele precedente am relevat faptul remarcabil, rezultat din experiență și ridicat la rangul de principiu, că nu s-a putut găsi niciodată între măsurătorile timpului făcute cu ajutorul a două sisteme vreo diferență care să nu poată fi explicată prin inexactități și prin erori experimentale. Această constatare stă la baza noțiunii de timp universal.

Robert Lennuier consacră acest ultim capitol răspunsului la cea de-a doua problemă; din expunerea lui vom vedea ce dificultăți apar atunci cînd în microfizică vrem să aplicăm conceptul de timp unor ansambluri prea puțin numeroase și cu atît mai mult unei singure particule.

Marile realizări ale științei contemporane sînt legate într-un mod mai mult sau mai puțin direct de cei trei stîlpi ai ei: relativitatea, mecanica cuantică și teoria informației. În ele trebuie căutate principalele contribuții pe care gîndirea științifică contemporană le-a adus noțiunii de timp. Fără a lua în considerare aceste contribuții nici o filozofie serioasă nu poate avea pretenția că este adaptată realităților pe care le sesizează analiza științifică contemporană a universului, în care sîntem atît de intim cufundați prin persoana și prin colectivitatea noastră.

Scanned with OKEN Scanner

Ideea de timp în fizica modernă [1]

R. LENNUIER

Profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris

Dezvoltarea ştiinţelor fizice a început destul de tîrziu în istoria spiritului uman, iar ideea de timp a fost elaborată şi analizată mai întîi ca noţiune metafizică. În felul acesta, timpul a fost conceput — sub forma pe care o vom numi „clasică" — într-un cadru universal, existent prin sine însuşi şi independent de natura universului fizic. Împreună cu spaţiul, conceput şi el ca universal şi existent prin sine însuşi, timpul constituia un fel de pînză de fond pe care în mod necesar trebuiau să se proiecteze, să apară zugrăvite toate evenimentele universului.

Această concepţie de ordin metafizic a fost acceptată, mai mult sau mai puţin implicit, aproape aidoma, de către fizicieni, care s-au mărginit să-i adauge preciziunile necesare pentru a deduce din ea definiţia unei mărimi fizice ce putea fi nu numai reperată, ci şi măsurată.

Abia de o jumătate de secol încoace, progresele neprevăzute ale fizicii i-au obligat pe fizicieni să analizeze ceva

[1] Acest articol reproduce o conferinţă ţinută de autor în 1945 şi publicată în 1946.

Scanned with OKEN Scanner

mai îndeaproape noțiunea de timp pe care o foloseau și să-i aducă modificări profunde, asupra cărora vom încerca să dăm în cele ce urmează o vedere de ansamblu.

Timpul în fizica clasică

Se știe că fizica clasică este intim legată de un foarte vast și foarte puternic edificiu matematic, numit mecanica rațională, care este studiul teoretic al mișcării corpurilor, adică a deplasării lor în spațiu și în timp. Pentru această disciplină, timpul este o mărime algebrică, cu rol de variabilă, iar mărimile caracteristice ale poziției sau stării de mișcare a corpurilor sînt în fond funcții de variabila t. Definiția timpului propusă de mecanica rațională apare deci ca fiind pur matematică. Pe de altă parte însă, fizicianul sau astronomul care vrea să aplice mecanica rațională la studiul și previziunea fenomenelor reale este obligat să definească o scară reală a timpului, adică ceea ce se numește un orologiu. Acesta este în fond un dispozitiv sau un fenomen cu ajutorul căruia se face ca fiecărei valori a unei mărimi variabile continuu, legată de acest dispozitiv sau fenomen, să-i corespundă o valoare a timpului.

Atunci cînd este vorba de definirea scării fizice a timpului, această corespondență este stabilită a priori, prin definirea lui t. În principiu, fizicianul s-ar putea considera cu totul liber în alegerea definiției pe care o dă timpului. Singura restricție pe care trebuie să și-o impună este de a defini, din motive de comoditate, o scară care să nu contravină noțiunii comune și străvechi a scurgerii uniforme, inevitabile și ireversibile a timpului. De îndată însă ce fizicianul sau astronomul încearcă să aplice lumii fizice ecuațiile mecanicii raționale, o asemenea definiție nu mai este suficientă. Apare atunci necesitatea ca definiția fizică și experimentală a timpului să fie compatibilă cu definiția matematică pe care o implică mecanica rațională. Or, ecuațiile mecanicii nu sînt adevărate în raport cu orice scară de timp: dacă sînt presupuse adevărate în raport cu o anumită scară

Scanned with OKEN Scanner

de timp t, ele nu rămîn adevărate (adică nu-și păstrează aceeași formă matematică) decît în raport cu variabilele legate de t prin transformări lineare de forma $t' = at + b$. O schimbare oarecare de variabilă efectuată asupra lui t nu lasă invariante ecuațiile fundamentale ale mecanicii. Aceasta înseamnă că pentru ca aceste ecuații să poată fi aplicabile, este necesar ca definiția experimentală stabilită de fizician să fie identică cu t (sau cu o transformare lineară a lui t).

Tocmai această condiție este cea respectată în practică. După cum a remarcat H. Poincaré, scara noastră de timp este astfel aleasă încît ecuațiile mecanicii să fie adevărate. Teoretic, pentru aceasta ar fi suficient să alegem drept orologiu un dispozitiv mecanic identic cu unul din cele studiate de mecanica rațională, în care să se realizeze în mod simplu și biunivoc corespondența dintre variabila t și o mărime spațială convenabilă. În felul acesta, măsurarea fizică a acestei din urmă mărimi, împreună cu corespondența adoptată ca definiție a timpului, va rezolva problema.

De fapt însă, problema nu e soluționată decît într-o primă aproximație, căci practic este imposibil să realizăm un asemenea orologiu perfect. Este cu neputință să realizăm sau să găsim în natură un dispozitiv sau un fenomen care să corespundă riguros condițiilor impuse de mecanică. De aceea cronometrele de precizie pe care le construim trebuie controlate și reglate în practică după un orologiu presupus mai perfect, care este Pămîntul aflat în mișcarea lui de rotație în jurul axei. Totuși, nici în acest caz problema nu este rezolvată definitiv. Micile abateri pe care le constatăm între previziunile astronomice (exprimate în funcție de scara teoretică și matematică a timpului) și observațiile făcute în momente reperate pe scara reală, adică terestră[1], a timpului, ne arată că orologiul terestru nu este riguros identic cu orologiul ideal al mecanicii, și aceasta chiar după corectarea efectului Darwin, adică a frînării exercitate asupra rotației Pămîntului de către maree (8,67 s pe secol).

[1] Autorul se referă la timpul determinat pe baza mișcării de rotație a Pămîntului, presupusă uniformă *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

Am insistat asupra acestor probleme în scopul de a-l face pe cititor să înţeleagă caracterul cu totul particular pe care-l are timpul în mecanica clasică. El nu este decît realizarea, cît mai exactă posibil, a timpului matematic al mecanicii. Rezultă că atunci cînd încercăm să aprofundăm noţiunea de timp, interogînd în acest scop fizica clasică, nu trebuie să ne aşteptăm să găsim în timpul pe care ea îl studiază nimic altceva decît conţinutul conceptului de timp introdus de la început în mecanica raţională. De aceea, dacă dorim să discutăm în mod critic noţiunea de timp, trebuie să depăşim cadrul fizicii clasice. Dar pe cîtă vreme în această discuţie filozoful a putut întotdeauna să nu-şi lege mîinile prin diverse afirmaţii concrete — libertate pe care o plăteşte de altfel prin caracterul mai nesigur şi mai contestabil al raţionamentelor sale —, fizicianul a trebuit să aştepte ca fapte noi (şi cu totul neaşteptate, tocmai fiindcă erau incompatibile cu concepţiile sale de atunci) să-l oblige să repună în discuţie postulatele cele mai profunde şi, în aparenţă, cele mai certe ale ştiinţei.

Timpul şi relativitatea

Să ne punem întrebarea: „Care este semnificaţia exactă a afirmaţiei că două evenimente, A şi B, se produc simultan, unul pe Pămînt şi celălalt pe un astru îndepărtat, să zicem pe Sirius?“

Pe un fizician prerelativist, întrebarea aceasta nu l-ar fi stingherit deloc. Răspunsul lui imediat ar fi fost următorul: „A spune că două evenimente sînt simultane, înseamnă a spune că se produc în acelaşi moment! Faptul că unul se petrece pe Pămînt şi celălalt pe Sirius nu schimbă cu nimic această definiţie“.

Răspunsul acesta, atît de simplu şi de evident în aparenţă, se dovedeşte totuşi foarte greu de justificat dacă analiza este împinsă pînă la capăt. El implică în, primul rînd existenţa unui timp universal şi absolut, valabil în aceeaşi măsură atît pe Sirius cît şi pe Pămînt,

Scanned with OKEN Scanner

fiindcă expresia „în același moment t“ nu are sens decît cu această condiție. Pentru fizicianul prerelativist, postulatul universalității timpului era atît de evident, încît el accepta condiția fără nici o dificultate.

Dar pentru ca să fie acceptabil pentru un fizician, răspunsul nu trebuie să rămînă pur verbal. Aceasta înseamnă că atunci cînd afirmăm că evenimentele A și B sînt simultane, trebuie să fim în stare să indicăm un procedeu, măcar teoretic, care să ne permită să verificăm simultaneitatea, astfel că, în cazul cînd ar trebui să abandonăm primul postulat (universalitatea timpului), procedeul să se poată transforma în însăși definiția simultaneității. Or, pe cîtă vreme ne este ușor să verificăm simultaneitatea a două evenimente ce se produc în același loc, lucrurile se petrec cu totul altfel atunci cînd evenimentele sînt localizate în puncte foarte îndepărtate.

Chibzuind asupra acestei situații, ne dăm seama că singurul mijloc de a rezolva problema este acela de a folosi niște semnale electromagnetice, de exemplu luminoase, care să fie schimbate între observatorii amplasați în cele două locuri A și B, precum și, dacă este necesar, între ei și un al treilea observator din afara lui A și B. Dar semnalele acestea se propagă cu o viteză finită, aceea a luminii; o propagare instantanee este inimaginabilă. Acest fapt dă naștere unei noi și grave dificultăți: în constatarea și definiția simultaneității va interveni acum, pe de o parte, viteza luminii, iar pe de altă parte, viteza celor două sisteme de referință de care sînt legate locurile A și B.

Fizica clasică socotea că poate ieși din această încurcătură cu ajutorul noțiunii de viteză absolută în spațiu. Cunoașterea vitezei absolute a mobililor în cauză (A, B și lumina) i-ar fi permis să restabilească, pe o cale ocolită și destul de lungă, noțiunea de simultaneitate absolută și să regăsească pînă la urmă definiția simplă enunțată la început.

Aceasta a fost starea de spirit care a dominat celebrele experiențe ale lui Morley și Michelson, efectuate în jurul anului 1900. Ideea lor directoare era următoarea: în raport cu spațiul, considerat pe atunci o realitate

Scanned with OKEN Scanner

numită eterul electromagnetic, lumina se propagă cu viteza constantă c, iar în raport cu același spațiu Pământul se deplasează la un moment dat cu viteza v. Dacă observăm în aceste condiții o rază de lumină, atunci viteza ei de propagare, cuprinsă între $v + c$ și $v - c$, va depinde de direcția și sensul translației Pământului față de direcția și sensul razei. Timpul de care are nevoie raza ca să parcurgă distanța ce separă cele două părți ale unui montaj optic diferă în cele două cazuri, și pentru că această diferență poate fi depistată cu ajutorul fenomenelor de interferență, se părea că fizicienii erau în posesia unui mijloc de a determina viteza absolută a Pământului în spațiu.

S-a constatat însă că experiența, executată de un număr mare de ori și de către cei mai buni experimentatori ai vremii, dădea mereu rezultate negative: era imposibil să se evidențieze cu certitudine o mișcare a Pământului în raport cu spațiul, chiar dacă se lucra la intervale de șase luni, adică între două epoci în care viteza de translație a Pământului în raport cu spațiul ar fi trebuit să se modifice cu o valoare de 60 km/s, care putea fi evidențiată prin metodele folosite.

Aceasta a stîrnit în rîndurile fizicienilor o mare perplexitate. Ieșirea din impas s-a datorat scînteii de geniu a lui Einstein, care a arătat că absurditatea rezultatului experiențelor putea fi explicată prin postulatele implicite puse la baza interpretării, adică prin postulatul existenței spațiului absolut și acela al existenței timpului universal. Ce dovedeau experiențele cu rezultat negativ ale lui Morley și Michelson? Mai presus de orice, invarianța legii de propagare a luminii în vid în raport cu orice sistem de referință galilean. Acest rezultat experimental, ridicat la rangul de principiu de către teoria relativității, rămîne de altminteri perfect compatibil cu definiția timpului din mecanica clasică, care presupune invarianța legilor fundamentale ale dinamicii în raport cu toate sistemele galileene, **însă cu condiția de a se despuia acest timp de caracterul lui universal.** Dezvoltarea teoriei relativității a arătat apoi că timpul nu poate căpăta decît definiții locale, fiindcă depinde de starea de mișcare și de poziția orologiilor în raport cu

Scanned with OKEN Scanner

observatorul. În raport cu un observator al cărui sistem de referință este considerat, în aceste condiții, ca fiind în stare de repaus, timpul ce se scurge într-un sistem în mișcare este încetinit cu factorul $(1-v^2/c^2)$, în care v este viteza sistemului în raport cu observatorul, iar c viteza luminii. Raportul v^2/c^2, cu totul neglijabil la mobilii cu care avem de-a face în viața de toate zilele, poate deveni totuși apreciabil în cazul corpusculilor microfizicii, a căror viteză se apropie de aceea a luminii, astfel că efectul încetinirii orologiilor poate căpăta valori importante.

Mezonii din radiația cosmică, de exemplu, ajung la nivelul solului cu viteze foarte mari, apropiate de viteza luminii. Ei se formează probabil în straturile superioare ale atmosferei, printr-un proces care este în curs de clarificare[1]. Înainte de a ajunge la nivelul solului, mezonii parcurg cel puțin zece kilometri. Viteza lor a putut fi evaluată cu aproximație și, fiindcă este apropiată de aceea a luminii, efectul relativist al încetinirii orologiilor trebuie să fie extraordinar de mare la acești corpusculi. S-a stabilit însă, pe de altă parte, că mezonul μ este radioactiv (așadar, nu e stabil) și că se transformă spontan într-un electron și un neutrino. Elevii lui Leprince-Ringuet au fost în stare să măsoare viața medie a mezonilor, după ce le-au redus enorm viteza, pînă la aproape de zero. Ceea ce au măsurat ei a fost deci viața mezonului μ în stare de repaus, pe care au găsit-o egală cu 2 milionimi de secundă. O asemenea durată de viață nu i-ar permite însă mezonului μ să străbată, înainte de a se dezintegra, decît o distanță de 500...600 m, chiar dacă viteza lui ar fi egală cu aceea a luminii. Pentru a parcurge cei zece kilometri, experiența ar cere o viață de 20 de ori mai mare. Pentru a ne explica diferența, trebuie să ținem seamă tocmai de efectul relativist al

[1] Astăzi se știe că particulele numite impropriu *mezoni* (denumirea actuală fiind de *miuoni*) se formează prin dezintegrarea mezonilor μ, care la rîndul lor apar prin ciocnirea particulelor din radiația cosmică cu straturile superioare ale atmosferei. Alături de electroni, pozitroni și neutroni, miuonii fac parte din categoria *leptonilor*, a particulelor ușoare *(N.E.)*.

încetinirii orologiilor. Într-adevăr, în cele ce urmează vom vedea că fenomenele expuse pot fi puse de acord cu ajutorul teoriei relativității. Fizicianul care observă mezonul găsește că acesta are în stare de repaus o viață de $2 \cdot 10^{-6}$ s și, ținînd seama de viteza și de parcursul lui, o viață de $40 \cdot 10^{-6}$s în mișcare. Să examinăm acum un orologiu pe care-l presupunem asociat mișcării mezonului. Datorită mișcării, timpul indicat de acest orologiu se scurge mai încet decît timpul fizicianului observator. Rezultă că, pe cînd fizicianul citește pe orologiul lui, aflat în stare de repaus, o durată de $40 \cdot 10^{-3}$s, orologiul asociat mezonului indică o durată mult mai scurtă, care trebuie să fie tocmai aceea de $2 \cdot 10^{-6}$ s. Un observator atașat mezonului ar constata deci că acesta are o viață de $2 \cdot 10^{-6}$s, fiindcă pentru el mezonul se află în stare de repaus. În schimb, pentru fizicianul legat de Pămînt, față de care mezonul se află în stare de mișcare, cele $2 \cdot 10^{-6}$s ale mezonului corespund cu $40 \cdot 10^{-6}$ s indicate de orologiul său terestru. Avem aici o dovadă directă și extrem de interesantă a încetinirii orologiilor din sistemele aflate în mișcare.

Fără să fi epuizat expunerea consecințelor pe care teoria relativității le are asupra timpului, vom rezuma în cîteva cuvinte situația la care am ajuns. Bazați pe fizica prerelativistă, fizicienii plecau de la ideea unui timp absolut, universal și independent de spațiu și de mișcare. Sîntem obligați acum să ne modificăm din temelie aceste concepții și să considerăm timpul drept o mărime atît de intim legată de mișcare și de spațiu, încît există atîția timpi diferiți cîte mișcări și cîte locuri sînt. Acești diverși timpi locali continuă să rămînă totuși timpi matematici, care corespund celor două postulate referitoare la invarianța în raport cu toate sistemele de referință galileene a legilor dinamicii și a vitezei luminii.

Ne mai rămîne să arătăm acum în ce fel chiar acest timp relativist se dizolvă și dispare la scara fizicii cuantice.

Scanned with OKEN Scanner

Conceptul de timp în fizica cuantică

Noțiunea de cuantificare domină întreaga fizică modernă. Mă simt obligat de aceea să reamintesc foarte pe scurt în ce constă acest procedeu. Orice sistem fizic este caracterizat printr-un anumit număr de mărimi care îi sînt afectate: poziția, viteza, energia etc. Sistemul se manifestă față de experimentator prin aceste mărimi, și orice experiență comportă măsurarea uneia sau mai multora din ele. În fizica veche se admitea că, printr-o alegere convenabilă a condițiilor impuse sistemului, se putea face ca mărimile ce-i erau afectate să ia toate valorile posibile, cel puțin între anumite limite. Fizica modernă se bazează, dimpotrivă, pe principiul, verificat de experiență, că o mărime fizică nu este în general capabilă să treacă decît printr-o succesiune discontinuă de valori. În decursul transformărilor pe care le suferă, un sistem (de exemplu un atom) nu trece deci de la o stare la alta prin trepte imperceptibile.

Mecanica ondulatorie are drept scop:

1) Să determine care sînt valorile posibile pe care le poate lua o mărime considerată într-un sistem dat, adică să determine „valorile proprii" ale operatorului asociat mărimii respective.

2) Cunoscînd starea sistemului la un moment dat și acțiunile la care sistemul este supus în același moment, să prevadă care va fi starea lui la un moment t ulterior.

În general această a doua problemă nu este însă susceptibilă de o soluție unică și certă. **Într-adevăr, în general nu avem posibilitatea să formulăm decît previziuni statistice,** *adică să indicăm probabilitatea ca starea ulterioară a sistemului să fie cutare sau cutare dintre stările cuantificate, deși de fapt sistemul poate trece prin oricare din stările cu probabilitate diferită de zero. Se vede deci că legile fizicii noi nu mai sînt legi deterministe, în sensul banal al acestui termen, ci legi de probabilitate. Legile statistice exprimă și ele certitudini, dar numai atunci cînd, urcîndu-ne la scara microscopică, examinăm ansamblul format dintr-un număr foarte mare de sisteme elementare, caz în care,* **datorită intervenției legii numerelor**

Scanned with OKEN Scanner

mari, *repartiția probabilităților reprezintă repartiția reală a stărilor.*

Dacă dispariția determinismului „clasic" la scara microfizică are cu adevărat caracterul esențial pe care stadiul actual al ideilor noastre pare să i-l atribuie, atunci fenomenul acesta atrage după sine, drept corolar, și dispariția, la aceeași scară, a vechiului concept de timp. **Într-adevăr, timpul și determinismul sînt intim asociate în fizică** și orice modificare în concepțiile noastre asupra unuia dintre ele se repercutează intens și asupra celui-lalt.

Pentru a ajunge însă la ideea estompării timpului la scara microfizică, vom folosi aici o cale mai directă, examinînd faptele mai îndeaproape. Mai înainte de toate, sîntem obligați să rezolvăm o problemă prealabilă. Cum putem vorbi de estomparea timpului în microfizică atunci cînd ecuațiile mecanicii ondulatorii, care se aplică tocmai în acest domeniu, conțin variabila t? Într-adevăr, funcțiunile de undă Ψ depind, în cazul general, de timp. Pentru a evita orice confuzie, trebuie să remarcăm încă de pe acum că **timpul t al ecuațiilor mecanicii ondulatorii este timpul observatorului,** al fizicianului care experimentează și care caută în fond să raporteze elementele lumii atomice la *propriul* său cadru spațio-temporal. Timpul t al ecuațiilor de undă nu ne permite deci, în nici un caz, să prevedem care va fi timpul efectiv trăit de corpusculii microfizicii, chiar dacă un asemenea timp ar exista. Lucrul acesta este cu atît mai adevărat cu cît se poate demonstra — folosind exemple foarte caracteristice — că semnificația exactă a variabilei t din mecanica ondulatorie nu este aceea de timp propriu-zis, ci de durată a măsurării, adică de durată ce se scurge între momentul inițial în care observatorul a luat cunoștință de starea sistemului studiat și momentul final în care el încearcă să cunoască noua stare a sistemului.

Și acum putem aborda problema însăși: ce devine noțiunea de timp atunci cînd ne coborîm la scara microfizică?

Pentru a face această analiză, vom utiliza un orologiu de un tip oarecum special, cunoscut adesea sub numele de „orologiu radioactiv". Să considerăm o cantitate de

Scanned with OKEN Scanner

substanță radioactivă ce conține un număr foarte mare N_0 de atomi, nedezintegrați încă la un moment dat $t=0$. Din cauza dezintegrării progresive a substanței, numărul N al atomilor nedezintegrați încă la un moment posterior t descrește atunci cînd t crește, astfel că după un anumit interval de timp T nu mai rămîn în stare nedezintegrată decît o jumătate din numărul inițial de atomi. Intervalul T se numește timpul de înjumătățire al substanței radioactive. După trecerea unei a doua perioade T, rămîn nedezintegrați numai jumătate din atomii rămași la finele primei perioade T și așa mai departe. Există deci o relație matematică (numită exponențială) între numărul N de atomi încă nedezintegrați la un moment dat și timpul t ce s-a scurs pînă în acel moment. Fenomenul dezintegrării, precum și relația amintită ne permit deci să definim o scară de timp care, după cum dovedește experiența, coincide de altminteri cu scara de timp a mecanicii.

Pentru a urmări acum timpul pînă în domeniul microfizic, este suficient să facem ca orologiul nostru radioactiv să treacă progresiv din domeniul clasic în domeniul microfizic, reducînd treptat numărul N_0 al atomilor presupuși că există la început. Atîta vreme cît N_0 va rămîne foarte mare, nu vom observa nimic nou. Atunci însă cînd N_0 se va micșora destul de mult, ajungînd, de exemplu, la cîteva sute, perfecta regularitate a fenomenului descris mai sus va începe să dispară: timpul pe care îl defineam cu ajutorul orologiului radioactiv se va dovedi că prezintă variații cu totul neregulate în raport cu timpul uzual al mecanicii. Pentru a fixa ideile, să presupunem că timpul de înjumătățire, definit mai sus, al acestei substanțe este de o oră. Dacă plecăm de la $N_0= 100$, vom observa că în general, după trecerea a 60 de minute, citite la orologiul nostru uzual, nu ne mai rămîn exact 50 de atomi nedezintegrați. Refăcînd de mai multe ori experiența, începînd de la 100 de atomi, vom găsi că după o oră au rămas nedezintegrați 47, 55, 52 sau 46 de atomi ș.a.m.d., astfel că cifra de aproximativ 50 o vom găsi numai făcînd media unui număr mare de rezultate. Încercînd, pe de altă parte, să observăm atomii în momentul dezintegrării, vom constata că repartiția lor pare să

Scanned with OKEN Scanner

fie cu totul oarecare și că dezintegrarea spontană a unuia sau altuia dintre ei se produce la întîmplare.

Dacă în loc să plecăm de la 100 de atomi plecăm numai de la 5, s-ar putea întîmpla să așteptăm foarte bine două ore fără să vedem pe vreunul din ei dezintegrîndu-se, după cum ar fi posibil ca după numai o jumătate de oră trei dintre ei să se fi dezintegrat deja. În această situație, ne va fi deci imposibil să mai continuăm a măsura timpul cu ajutorul orologiului radioactiv redus la scara microfizică, fiindcă timpul indicat de el, adică timpul din care speram să facem timpul propriu al atomilor ce constituie orologiul, ne va apărea ca fiind complet dezordonat în comparație cu timpul valabil la scara noastră, iar remarcabila regularitate ce se manifesta atunci cînd N_0 era foarte mare se dovedește a nu fi fost în fond decît o regularitate statistică.

Să analizăm însă acest fenomen și mai îndeaproape[1]. Să considerăm un singur atom din substanța cu timp de înjumătățire de 60 de minute. Mai există oare vreun raport între aceste 60 de minute și atomul nostru unic? Da, și acest raport este următorul: avem o probabilitate de 1 la 2 că atomul se va dezintegra după trecerea celor 60 de minute. Să presupunem însă că după 60 de minute atomul continuă să existe. Ce putem afirma în acest caz? Că atomul a îmbătrînit și este mai aproape de dispariție în momentul de față decît acum 50 de minute? Absolut deloc. Dacă ne-am putut asigura că atomul mai dăinuia cu adevărat după trecerea celor 60 de minute, putem afirma acum din nou că există tot o șansă de 1 la 2 ca el să trăiască și după alte 60 de minute. Rezultă că atomul are în orice moment în fața lui același cîmp de posibilități sau

[1] Este de remarcat că aspectele paradoxale prezentate în acest articol sînt strîns legate de noul mod de determinare a timpului pe baza unui proces aleatoriu. Ele nu sînt caracteristice în special pentru microcosm, ci decurg din modul „probabilist" de determinare a timpului. Dacă ne referim, de exemplu, la populația întregului glob pămîntesc, numărul total al nașterilor este proporțional cu timpul scurs. Dacă însă identificăm prin definiție numărul nașterilor cu timpul scurs și trecem de la totalitatea omenirii la colective mici sau la diverse familii luate aparte, ajungem *și la scară macroscopică* la aceleași aspecte paradoxale și contradicții aparente despre care se vorbește în articolul de față *(N.E.)*.

— am putea spune — același viitor, indiferent de timpul măsurat la scara noastră și scurs pînă atunci. Singurul lucru pe care-l putem afirma în urma acestei constatări este că timpul, mai bine zis timpul nostru, nu contează pentru atom, că în fond nimic nu ne permite să caracterizăm îmbătrînirea atomului radioactiv și că însuși momentul în care se constată dezintegrarea n-are nici o semnificație în raport cu timpul, fiindcă, raportat la scara noastră, el poate să se situeze pe această scară la un „nivel" cu totul oarecare, care nu are nici o legătură cu „nivelul" la care am putea să situăm momentul nașterii atomului nostru.

De altminteri, tot ce am spus despre atomii radioactivi are un caracter cu totul general. Am fi putut face un raționament identic în legătură cu un ansamblu de atomi neradioactivi, supuși unei perturbații sau prezentîndu-se într-o astfel de stare încît să aibă o posibilitate diferită de zero de a trece într-o astfel de stare. Vom avea de-a face și în acest caz cu o poziție cu totul oarecare, pe scara timpului nostru, a momentului în care se produce tranziția cuantică a unei particule individuale, precum și cu imposibilitatea de a defini starea de „bătrînețe" a unui atom în momentul t în care-l găsim încă în starea lui inițială. Apariția tranziției cuantice este dominată de cel mai pur hazard și de cel mai complet arbitrar, astfel că numai o statistică ce se extinde asupra unui număr foarte mare de cazuri individuale poate face să apară o anumită regularitate, care se afinează pe măsură ce numărul cazurilor înglobate de statistică crește. În felul acesta, noțiunea de timp își pierde orice semnificație la scara microfizică: totul se petrece ca și cum la această scară fenomenele n-ar mai fi supuse timpului.

Putem merge însă și mai departe. Pînă acum, am raționat spunînd: în momentul t al scării noastre de timp atomul face cutare lucru sau este în cutare stare. Raționamentul acesta presupune însă că cel puțin una din vechile noțiuni continuă să subziste la scara microfizică: noțiunea de simultaneitate, care ne permitea să precizăm momentul unui fenomen sau al unei observații.

Vom constata însă că nici noțiunea de simultaneitate nu rezistă acestei coborîri în adîncurile materiei și că

Scanned with OKEN Scanner

însăşi noţiunea de moment dispare la scara microfizică. Lucrul acesta rezultă dintr-o relaţie celebră, şi anume din cea de-a patra relaţie de incertitudine a lui Heisenberg.

Atunci cînd examinăm ceva mai îndeaproape felul în care are loc cunoaşterea fenomenelor microfizice, ne dăm seama că *în fond putem să luăm cunoştinţă de un sistem şi să precizăm starea acestuia numai cu prilejul transferurilor de energie.*

Operaţia de măsurare care trebuie să ne facă cunoscute atît momentul în care se produce tranziţia cuantică a sistemului studiat, cît şi valoarea energiei, declanşate în această tranziţie, necesită o anumită durată Δt a observaţiei. Rezultă că însuşi momentul tranziţiei studiate nu poate fi cunoscut decît cu o incertitudine minimală Δt. În acelaşi timp însă, energia este şi ea măsurată în general cu o anumită incertitudine pe care o notăm cu ΔE. Călăuzindu-ne după ideile fizicii clasice, ne-am putea imagina o experienţă ideală, efectuată cu aparate de măsură perfecte, care ne-ar permite să reducem la o valoare oricît de mică am dori atît incertitudinea Δt cît şi incertitudinea ΔE. Analizele subtile ale lui Heisenberg, precum şi întreaga dezvoltare a mecanicii cuantice, ne-au arătat însă că o asemenea speranţă este zadarnică. Chiar într-o experienţă ideală şi perfectă, ne este imposibil — prin însăşi natura lucrurilor — să stabilim cu exactitate atît momentul în care se produce schimbarea de stare a unui sistem, cît şi energia pusă în joc cu acest prilej. Precizia realizabilă este limitată de constanta h a lui Planck, care are o valoare mică, însă diferită de zero, şi care impune ca produsul celor două incertitudini să aibă o valoare de acelaşi ordin de mărime cu ea (sau de un ordin de mărime superior dacă măsurarea nu este perfectă).

Din cele de mai sus rezultă că pentru cunoaşterea exactă a stării unui sistem este necesară o operaţie de măsurare de o durată destul de mare, ceea ce are drept consecinţă o incertitudine la fel de mare în privinţa momentului în care s-a produs tranziţia observată. Şi invers. O măsurare instantanee, capabilă să situeze corect, pe scara noastră de timp, momentul schimbării de

Scanned with OKEN Scanner

stare a sistemului, antrenează o incertitudine foarte mare în legătură cu energia declanșată în această schimbare, adică nu ne permite să cunoaștem fenomenul pe care l-am localizat în timp. **Cunoașterea exactă a unui fenomen exclude, așadar, cunoașterea momentului exact în care s-a produs fenomenul.** Astfel însăși noțiunea de moment se estompează în domeniul microfizic, iar simultaneitatea a două fenomene microfizice, sau a unui fenomen microfizic cu un fenomen ce se petrece la scara noastră, devine — riguros vorbind — imposibilă de definit și își pierde orice semnificație precisă. Curioasa relație care apare între energia ce caracterizează un fenomen și momentul în care acesta se produce arată clar că la acest nivel final al analizei nu mai avem posibilitatea să considerăm cadrul „timp“ ca fiind independent de fenomenele reale pe care încercăm să le descriem cu ajutorul lui.

Scanned with OKEN Scanner

Concluzie

Disoluția progresivă a reprezentărilor clasice despre timp, pe care am urmărit-o în paginile precedente, ne îndepărtează de concepția inițială a timpului descris ca o realitate metafizică, existentă prin ea însăși și aplicabilă totalității universului. **În realitate, așa cum am văzut, pare evident că ideea de timp nu mai are nici o semnificație la scara microfizică**[1]. Și totuși, de ce ne-ar uimi această constatare? *Nu devin oare neadecvate în acest domeniu cea mai mare parte a conceptelor noastre? Atunci cînd noțiunile de obiect, entitate individuală discernabilă, determinism etc. sînt atît de profund modificate în domeniul microfizic, de ce ne-ar surprinde faptul că noțiunea tradițională de timp este dată și ea peste cap? De altminteri, analiza noastră nu se reduce la aspectul negativ: ea ne aduce anumite lămuriri asupra naturii tim-*

[1] Această afirmație extremistă este greu de susținut. În realitate, chiar legile fundamentale ale microfizicii nu pot fi formulate fără a folosi noțiuni temporale. Cu totul altfel stau lucrurile în ce privește însușirile timpului, care au un caracter relativ. Conceptul de timp se modifică, dar timpul însuși rămîne forma generală de existență a materiei în mișcare la cele mai variate nivele structurale ale acesteia *(N.E.)*.

Scanned with OKEN Scanner

pului fizic și ne dă posibilitatea, pe măsură ce ne ridicăm din domeniul microfizicii în acela cu care sîntem obișnuiți, să asistăm la sinteza noțiunii clasice de timp.

Prima care își recapătă în domeniul macroscopic valoarea practică este noțiunea de moment, fiindcă în acest domeniu incertitudinile, a căror importanță relativă era mare la scara atomului, adică la scara cuantei de acțiune a lui Planck, devin cu totul neglijabile. În ceea ce privește timpul propriu-zis, îl vedem cum se degajă încetul cu încetul datorită intervenției legii numerelor mari, care face ca din hazardul pur și din simpla probabilitate să apară regularitatea și certitudinea. **Rezultă că fizica modernă nu trebuie să ceară adevărata definiție a timpului de la mecanica clasică, ci de la calculul probabilităților.** Timpul este o noțiune statistică, tot așa cum este, de exemplu, presiunea unui gaz, și **tocmai acestei naturi statistice își datorește el acela din atributele sale care ni se pare cel mai misterios: ireversibilitatea.** Una și aceeași cauză duce la creșterea neîncetată a entropiei unui sistem izolat și la ireversibilitatea timpului. **Creșterea entropiei sau ireversibilitatea timpului nu fac altceva decît să reprezinte evoluția, care se desfășoară într-un mod ineluctabil cînd privește un număr imens de fenomene elementare, adică atunci cînd din domeniul microfizic trecem din nou în acela al fizicii clasice.**

Bineînțeles că timpul pe care l-am analizat de-a lungul acestui expozeu este timpul fizicianului, adică timpul care are un sens în lumea materiei nevii. Poate că biologul și psihologul s-ar simți îndemnați să studieze timpul dintr-un punct de vedere propriu domeniului lor; că ideile la care am ajuns noi nu prejudecă întru nimic asupra ideilor pe care le-ar putea sugera studiul timpului biologic sau al celui psihologic. Cred totuși că filozoful nu poate analiza în mod valabil noțiunea generală de timp fără să țină seamă de învățămintele pe care, în limitele domeniului ei, ni le oferă fizica.

Scanned with OKEN Scanner

Bibliografie sumară

În afara lucrărilor indicate la sfîrșitul fiecărui capitol, semnalăm și următoarele:

Lucrare generală asupra fizicii moderne și a aspectului ei statistic:

Louis Leprince-Ringuet — *La Science Contemporaine*, 2 volume, Larousse (în special cea de-a doua jumătate a volumului II).

Lucrări care dezvoltă unul dintre capitole:

O. Costa de Beauregard — *La notion de temps, équivalence avec l'espace* (Hermann, Paris, 1963).
Le second principe de la science du temps (Seuil, Paris, 1963).

Decaux — *La mesure précise du temps* (Masson, 1959).

Scanned with OKEN Scanner

Anexă

Timpul şi ireversibilitatea lui în fizica clasică şi în microfizică

D.A. FRANK-KAMENEȚKI

În articolul de mai jos, publicat ca prefață la ediția în limba rusă a lucrării Timpul și gîndirea fizică contemporană, *cunoscutul fizician sovietic D.A. Frank-Kameneţki comentează articolele cuprinse în această culegere, dînd lămuriri suplimentare și aducînd unele contribuții proprii în legătură cu problemele tratate. Editura a considerat că lectura lui va interesa publicul cititor.*

Însemnătatea fizicii pentru umanitatea contemporană nu se limitează la puterea pe care i-a dat-o asupra naturii. Fizica este un minunat instrument de cunoaștere și de transformare a lumii. Pentru a transforma trebuie să cunoști, dar cunoașterea lumii este importantă și prin sine însăși, pentru formarea concepției noastre despre lume. Odată cu progresul științei, reprezentările noastre despre lume devin tot mai exacte, tot mai profunde.

Noile idei științifice nu sînt însă asimilate din capul locului în toată plenitudinea lor. Luînd naștere sub o formă matematică complicată și greu accesibilă, ele au nevoie de timp pentru a-și dezvălui treptat întreaga

Scanned with OKEN Scanner

lor bogăție de semnificații din punctul de vedere al viziunii generale asupra lumii. Pînă și specialiștii cărora aparatul matematic le este familiar nu reușesc întotdeauna să sesizeze imediat și să înțeleagă în mod just sensul adînc ascuns sub învelișul formelor matematice, deși pentru ei este un lucru obișnuit să folosească aceste formule în activitatea lor de toate zilele. Iată de ce sînt deosebit de utile cărțile de informare și de popularizare științifică de felul celei pe care o aveți în mînă. În această lucrare specialiști în diferite domenii ale fizicii teoretice și aplicate prezintă aspecte importante ale disciplinei respective.

Tema aleasă — problema timpului — este una din problemele centrale ale concepției noastre generale asupra lumii. Cu toții sîntem supuși neîndurătoarei scurgeri a timpului, timpul impregnează adînc cele mai esențiale trăiri ale ființei noastre. Deplîngem scurtimea vieții, evocăm cu melancolie trecutul care s-a dus și nu se mai întoarce, ne dăruim din plin prezentului irepetabil și încercăm să sondăm depărtările viitorului. Încă în străvechea legendă biblică despre Iisus Navi și-a găsit expresie nu numai năzuința de a opri timpul în loc, dar și o concepție precisă despre esența timpului: pentru a opri scurgerea timpului trebuie oprită mișcarea Soarelui. Scriitorii, poeții, căutînd să exprime rezonanța pe care lumea înconjurătoare o găsește în lumea lor interioară, acordă în opera lor un loc de seamă timpului. Nu întîmplător Ana Ahmatova a dat cărții care însumează și sintetizează întreaga ei creație titlul „*Fuga clipelor*“[1]. Filozoful elen Zenon din Eleea ne-a lăsat peste veacuri cîteva paradoxuri care pun cu o mare profunzime probleme privitoare la timp și la legătura lui cu mișcarea. Aceste paradoxuri au inspirat versurile lui Paul Valéry luate ca moto în capitolul ce le este consacrat. Amintim că aceleași paradoxuri au deșteptat și interesul lui Pușkin, care le-a consacrat o spirituală poezie intitulată *Mișcare*.

Vreme îndelungată, fizicienii s-au mulțumit să ia noțiunea de timp ca o noțiune inițială dată, lăsînd filo-

[1] *Beg vremeni.*

zofiei dreptul exclusiv de a o analiza. Trebuie relevat ca o caracteristică remarcabilă a ştiinţei din secolul al XX-lea faptul că ea a izbutit să supună analizei fizice şi matematice însuşirile spaţiului şi timpului real. Prin aceasta ea a dat o lovitură decisivă concepţiilor idealiste şi metafizice despre caracterul aprioric al timpului. Timpul este o formă de existenţă a materiei; el posedă ca atare anumite însuşiri bine determinate, care nu pot fi cunoscute decît printr-o cercetare ştiinţifică adecvată. Nu este greu de înţeles că rezultatele unei asemenea cercetări capătă, pe lîngă însemnătatea lor fizică, şi o largă semnificaţie filozofică. Ele aruncă lumină asupra structurii logice a noţiunilor fundamentale ale gîndirii omeneşti. Ele se integrează, ca o importantă parte componentă, în concepţia noastră generală asupra lumii, îşi pun pecetea asupra felului nostru de a o înţelege şi, în cele din urmă, cînd ne deprindem cu ele, chiar asupra rezonanţei pe care lumea înconjurătoare o are în sensibilitatea noastră. Tocmai acestor însuşiri ale timpului real le este consacrată lucrarea de faţă.

Asemenea metode şi rezultate ale ştiinţelor concrete care dobîndesc semnificaţie generală se numesc „epistemologice“, termen care ni se pare util, deşi poate că numai puţini dintre cititori îl cunosc. Uneori epistemologia este identificată sau, mai bine zis, confundată cu gnoseologia (teoria cunoaşterii), deşi, în esenţă, ele sînt — într-un anumit sens — una opusul celeilalte. Evitînd un limbaj de specialitate, am putea spune că gnoseologia este contribuţia pe care filozofia o aduce ştiinţelor concrete, pe cînd epistemologia este contribuţia pe care ştiinţele concrete o aduc filozofiei. Mai exact, gnoseologia aplică ideile şi metodele filozofiei pentru a fundamenta căile de cunoaştere a lumii cu ajutorul ştiinţelor concrete, în timp ce epistemologia foloseşte metodele şi rezultatele ştiinţelor concrete pentru a analiza din punct de vedere logic noţiunile lor fundamentale şi a le include în sistemul concepţiei noastre filozofice generale asupra lumii.

Să încercăm acum să urmărim cum îşi găseşte expresia această preocupare în conţinutul de idei al diverselor capitole ale lucrării, scrise de diferiţi autori.

Scanned with OKEN Scanner

Prima parte a cărții reprezintă, în general, o trecere în revistă a metodelor de măsurare a timpului în dezvoltarea lor istorică. Cititorul capătă aici, sub o formă accesibilă, multe cunoștințe interesante și prețioase asupra tehnicii măsurării timpului și a cercetărilor experimentale privitoare la acest domeniu. Viața și activitatea noastră depind în așa măsură de timp, încît cu toții sîntem obligați să știm cum se măsoară timpul. Dar această parte a cărții are o legătură directă și cu problema însușirilor generale ale timpului real.

În diferitele ei capitole, diferiți autori demonstrează cititorului, din diverse puncte de vedere, una și aceeași teză fundamentală: *dați-ne un proces care decurge uniform în timp și vom putea să măsurăm timpul.* Dar ce înseamnă „uniform în timp"? Pentru a răspunde la această întrebare, trebuie să precizăm în prealabil ce înțelegem prin „scurgerea timpului". Este oare uniformă rotația Pămîntului? Există oare vreun orologiu, fie el de orice gen, pe care să-l putem „lua pe garanție" în ce privește uniformitatea mersului său? La aceste întrebări răspunde, într-un capitol remarcabil, prin conținutul său profund, marele mecanician francez *Paul Germain*. Ne vom permite să explicăm ideea lui principală într-o formă mai accesibilă. Legile mecanicii clasice newtoniene au ca puncte de plecare noțiunile de mișcare uniformă și de accelerare. Dar dacă vom măsura timpul cu orologii care ba merg mai repede, ba rămîn în urmă, mișcarea ne va părea neuniformă; cît despre accelerații, rezultatele măsurării lor vor fi necorecte. Cu alte cuvinte, legile lui Newton implică, ca premisă, mersul uniform al timpului. Legea inerției poate fi formulată precum urmează: se consideră uniform un asemenea sistem de referință al timpului în cadrul căruia, în absența unor forțe exterioare, corpurile se mișcă cu viteză constantă. Dacă însă asupra lor acționează forțe, este cazul să aplicăm legea a doua a lui Newton. Datorită înclinației spre generalizare proprie matematicianului, Germain exprimă a doua lege a lui Newton într-o formă cam abstractă. Dar sensul nu se schimbă dacă revenim la formularea cea mai simplă: forța este egală cu masa înmulțită cu accelerația. În acest caz se consideră uniform sistemul

Scanned with OKEN Scanner

de măsurare a timpului, în cadrul căruia masa rămîne constantă dacă o determinăm prin împărțirea valorii forței la valoarea accelerației. Desigur, apar și alte întrebări: cum să determinăm forța, ce-i de făcut dacă utilizăm orologii care merg cu accelerare uniformă sau cu încetinire uniformă? Dar aceste probleme țin de categoria problemelor concrete. Cît despre fundamentele principale ale alegerii sistemului de măsurare a timpului, sînt cît se poate de bine clarificate în prima parte a cărții.

A doua parte a cărții este consacrată ideilor lui Einstein și Minkowski, care au dus la o contopire sui-generis a timpului și spațiului. Fără a se angaja într-o expunere amplă a teoriei relativității, autorii prezintă într-o formă simplă și lesne inteligibilă acele consecințe ale ei care se referă nemijlocit la problemele timpului.

Într-un interesant articol, *Pierre Costabel* dezvoltă ideea că unitatea timpului și spațiului a fost intuită încă de gînditorii antici, care au dedus-o din considerațiile generale privitoare la dialectica opoziției continuu-discret și la modul în care ea își găsește expresie în însușirile mișcării, considerații prilejuite de paradoxurile lui Zenon.

Din restul părții a doua am dori să relevăm două probleme. Cea dintîi, ghiuleaua lui Langevin, se referă la scurtarea timpului în mișcările foarte rapide. În 1911 Langevin a remarcat pentru prima dată că un om care ar zbura cu ajutorul proiectilului lui Jules Verne (sau al unei rachete) cu o viteză apropiată de viteza luminii ar trebui să îmbătrînească mai încet decît un frate geamăn (sau, în general, un om de aceeași vîrstă cu el) de pe Pămînt. Ulterior, această consecință a teoriei relativității a dobîndit o mare notorietate sub denumirea de „paradoxul gemenilor". Paradoxul — asupra căruia a atras pentru prima dată atenția Bergson — constă în contradicția aparentă cu principiul relativității. Conform acestui principiu, sistemele de referință sînt echivalente: am fi putut descrie același proces într-un sistem de referință în care racheta este imobilă, mobilul fiind Pămîntul. Soluția paradoxului trebuie căutată, riguros vorbind, în afara limitelor teoriei relativității restrînse,

Scanned with OKEN Scanner

care are de-a face numai cu sisteme inerțiale (așadar, în mișcare uniformă). Din această teorie rezultă că vîrsta gemenilor poate fi comparată numai dacă ei se află în același punct al spațiului. Numai atunci are sens noțiunea de simultaneitate. Dar pentru ca gemenii să se întîlnească, racheta trebuie să se întoarcă înapoi, fiind supusă astfel unor accelerații. În acest caz, sistemul de referință legat de rachetă nu mai este inerțial și pentru a trece la el trebuie să recurgem nu la teoria relativității restrînse, ci la aceea a relativității generalizate. Conform acestei din urmă teorii, trecerea unui sistem de referință la mișcarea accelerată echivalează cu apariția unui cîmp de gravitație, iar acest cîmp, la rîndul său, accelerează mersul timpului. Calculele arată că efectul vitezei în unul din sistemele de referință coincide exact cu efectul gravitației în celălalt, ceea ce înseamnă că nu mai există nici un paradox. Trebuie avut însă în vedere că teoria relativității generalizate a apărut abia zece ani după publicarea remarcii lui Langevin. În acest răstimp paradoxul a fost efectiv insolubil, ceea ce înseamnă că în raport cu nivelul de atunci al dezvoltării științei Bergson n-a comis nici o eroare găsind un paradox în raționamentele lui Langevin.

În al doilea rînd, am vrea să atragem atenția cititorului asupra excelentei expuneri privitoare la *conul de lumină*. Ea se află în strînsă legătură cu problema de mare însemnătate a sensului unic de scurgere a timpului, căruia Eddington i-a dat sugestiva și eleganta denumire de „săgeata timpului". Această problemă a stîrnit un puternic interes și este în continuare larg dezbătută atît de fizicieni cît și de filozofi. Trebuie să subliniem că, spre deosebire de toate problemele precedente, în general destul de clare, problema săgeții timpului și aceea, strîns legată de ea, a ireversibilității timpului continuă încă să-și aștepte soluția definitivă.

A treia parte a cărții este consacrată uneia din căile posibile de abordare a acestei probleme, cale care ar putea fi numită „statistică". Drept instrument matematic este utilizată aici noțiunea de probabilitate; principalele idei fizice sînt luate din termodinamica statistică

Scanned with OKEN Scanner

sau din teoria informației. Ireversibilitatea timpului este tratată aici de pe poziții termodinamice.

Ideea centrală este simplă, dar pentru a o face mai evidentă vom recurge — mai în glumă, mai în serios — la următorul exemplu. Soția unuia din prietenii dv. a plecat la țară. După aceea l-ați vizitat de două ori pe acest prieten, dar nu vă puteți aminti care din vizite ați făcut-o mai înainte și care mai tîrziu. Cu toate acestea, stînd și gîndindu-vă, vă vine în minte că o dată mai domnea încă în locuință ordinea, în timp ce altă dată domnea haosul. Unica concluzie posibilă este că ordinea a fost *înainte*, iar haosul *pe urmă*.

Fizicienii au imaginat o măsură fizică a dezordinii — *entropia* (și a ordinii: *negentropia*). În lipsa unor forțe organizatoare exterioare (reprezentate, în cazul nostru, de mîinile grijulii ale femeii), un sistem mare se dezvoltă în timp în așa mod încît entropia crește. Partizanii abordării statistice a problemei consideră că creșterea dezordinii, și numai ea, indică sensul scurgerii timpului. Procesele elementare sînt considerate pe deplin reversibile; ireversibilitatea apare atunci cînd se împletesc un mare număr de interacțiuni elementare. Acest punct de vedere prezintă un interes neîndoielnic, dar nu se poate susține că justețea lui ar fi fost demonstrată de știința contemporană. Avem de-a face aici cu un întreg domeniu de probleme dificile, situate în avanposturile cercetării științifice.

Se ridică în primul rînd o întrebare de un ordin foarte general: se reduce oare sensul unic al timpului numai la ireversibilitatea proceselor fizice, sau trebuie să atribuim săgeții timpului un sens mult mai larg? A doua întrebare are un caracter mai concret: ireversibilitatea apare numai la scară macroscopică, sau este proprie și proceselor elementare? Se poate afirma că în cartea de față aceste probleme nu sînt nici măcar abordate în esența lor.

A patra parte a cărții îl introduce pe cititor în lumea microfenomenelor, dar numai îl introduce. Cînd se vorbește despre fizica „nouă", se are aici în vedere mecanica cuantică, adică fizica microcosmului în limitele fundamentelor ei inițiale. Este un domeniu în care caracterul probabilist al legilor fizicii dobîndește un sens mai

Scanned with OKEN Scanner

adînc decît în statistica macroscopică despre care a fost vorba în partea a treia. În ambele cazuri aceste reprezentări neobişnuite pentru spiritul nostru pot să prilejuiască erori subiectiviste. În macrofizică erorile de această natură sînt legate de noţiunea de informaţie, iar în microfizică de semnificaţia procesului de măsurare şi de influenţa lui asupra stării sistemului.

Să începem cu problema mai generală — cu *noţiunea de probabilitate condiţionată* şi cu *teorema lui Bayes*. Pentru ca aceste lucruri să fie mai uşor de înţeles, ne vom permite să dăm un exemplu care, după părerea noastră, este mai sugestiv decît cel dat în text. Probabilitatea ca un om să-şi piardă viaţa într-un mod sau altul depinde de profesia lui de bază. Să presupunem că posedăm fişele medicale ale unui număr mare de oameni decedaţi şi că pe aceste fişe se precizează cauza morţii lor. Să selectăm fişele celor care au murit datorită unor accidente de automobil. Împărţind numărul lor la numărul total al fişelor obţinem probabilitatea *morţii* din cauza unui *accident automobilistic* $P\ (M_a)$. Dacă pe fişe este indicată şi profesia de bază, putem pune deoparte fişele conducătorilor auto. Să admitem că şi această categorie de fişe este destul de numeroasă. Atunci în interiorul ultimei selecţii putem efectua aceeaşi operaţie ca la început: să împărţim numărul conducătorilor auto decedaţi în urma unor accidente la numărul total de conducători. Vom obţine probabilitatea *morţii* unui om datorită *unui accident de automobil* dacă (= „condiţia“) profesia lui de bază este aceea de *conducător auto*. Aceasta este *probabilitatea condiţionată*. O notăm astfel: $P\ (M_a/\ C_a)$. Este firesc să ne aşteptăm ca pentru automobilişti probabilitatea morţii datorită unui accident auto să fie mai mare decît pentru oameni în general.

$$P(M_a/\ Pr_c) > P\ (M_a).$$

Acum însă, să presupunem că ne interesează altceva: dacă un om şi-a pierdut viaţa într-un accident de automobil, care este probabilitatea ca el să fi fost conducător auto? Conform sistemului adoptat anterior, vom nota această probabilitate P astfel: $P\ (Pr_c/\ M_a)$. Pentru a găsi această probabilitate condiţionată, trebuie să facem

Scanned with OKEN Scanner

selecția următoare. Mai întîi să punem deoparte fișele oamenilor care au decedat datorită unor accidente automobilistice, apoi să selectăm dintre ele fișele conducătorilor auto. Pe parcurs, efectuînd această selecție, vom afla și probabilitatea generală ca un om oarecare să fie conducător auto: $P\ (Pr_c)$.

Făcînd aceste selecții, ne-am călăuzit întîi după un criteriu, apoi după altul. Se poate face însă o selecție după două criterii deodată: cu alte cuvinte, să alegem din întreaga masă de fișe numai pe acelea ale conducătorilor auto care au decedat în urma unor accidente de automobil. Împărțind numărul lor la numărul total al fișelor obținem probabilitatea determinată după ambele criterii — profesia și cauza morții:

$$P\ (Pr_c,\ M_a) \equiv P\ (M_a,\ Pr_c).$$

Celor cărora le place matematica le vom atrage atenția că pe baza selecțiilor efectuate putem scrie

$$P(Pr_c,\ M_a) = P(Pr_c) \cdot P(M_a/Pr_c) = P(M_a) \cdot P(Pr_c/M_a).$$

Această formulă conține sau, mai bine zis, ascunde în sine teorema lui Bayes. Să ne amintim că profesiile de bază sînt, în virtutea convenției noastre, reciproc incompatibile, cu alte cuvinte, că un conducător auto nu poate să aibă concomitent și o altă profesie. Avem

$$P(M_a) = \sum P(M_a/Pr),$$

unde semnul $\sum$ înseamnă însumarea pentru toate profesiile. De aici, și din formula precedentă obținem

$$P(Pr_c/M_a) = \frac{P(Pr_c) \cdot P(M_a/Pr_c)}{\sum P(M_a/Pr)},$$

care este tocmai formula lui Bayes, aplicată la problema examinată.

În partea a treia a cărții, *Costa de Beauregard* consideră această formulă ca mijloc de a restabili cauzele după efectele lor. În sensul statistic, profesia poate fi considerată drept cauză iar moartea prin accident ca urmare. Probabilitățile condiționate (M_a/Pr) sînt suficiente pentru predicția efectelor dacă se cunosc cauzele. Dar

Scanned with OKEN Scanner

totalitatea acestor probabilităţi nu este suficientă pentru găsirea pe cale statistică a cauzei dacă se cunoaşte efectul (moartea prin accident). Pentru aceasta este nevoie în plus de probabilitatea P (Pr_c).

Nu este deloc obligatoriu să înţelegeţi formula şi modul în care a fost dedusă. Cititorul pe care matematica nu-l atrage se poate foarte bine lipsi de aceasta. Ceea ce este important să înţelegem este caracterul probabilist al cauzalităţii, neobişnuit pentru gîndirea noastră cea de toate zilele, dar care stă totuşi la baza fizicii statistice şi a fizicii cuantice. Este remarcabil faptul că în cadrul acestei cauzalităţi statistice cauza şi consecinţa nu pot fi puse pur şi simplu una în locul alteia:

$$P(Pr_c/M_a) \neq P(M_a/Pr_c).$$

În aceasta constă legătura dintre teorema lui Bayes şi problema ireversibilităţii timpului.

Credem că prezintă importanţă şi un alt aspect al noţiunii de probabilitate condiţionată. Sîntem adesea foarte tentaţi să spunem: „Atîta vreme cît nu ştiam nimic despre omul acesta, probabilitatea morţii lui prin accident „era" $P(M_a)$. După ce am aflat însă că este vorba de un conducător auto, probabilitatea „a crescut", devenind $P\ (M_a/\ Pr_c)$". În fizica cuantică, ca urmare a procesului de măsurare, probabilităţile condiţionate se schimbă, ceea ce se interpretează adesea ca o schimbare a stării sistemului. Aşa este, de altfel, însăşi terminologia devenită tradiţională: se vorbeşte despre probabilităţile „a priori" şi „a posteriori", adică „dinainte" şi „de după" obţinerea informaţiilor suplimentare. Iată primul dintre canalele prin care se strecoară în fizica probabilistă erorile subiectiviste.

Cel de-al doilea canal este strîns legat de termenul, astăzi la modă, de „informaţie", care fără să vrei îţi sugerează ideea unui subiect care receptează această informaţie. Teoria informaţiei a stabilit o strînsă analogie între entropie şi informaţie. De aceea toate [illegible] zentările statistice, inclusiv cele legate de proble[illegible]metriei pului, pot fi exprimate în limbajul teoriei [illegible] timpului Dar în acest înţeles lărgit informaţia pier[illegible]crîns legat de glindă („simetria

totalitatea acestor probabilități nu este suficientă pentru găsirea pe cale statistică a cauzei dacă se cunoaște efectul (moartea prin accident). Pentru aceasta este nevoie în plus de probabilitatea $P\ (Pr_c)$.

Nu este deloc obligatoriu să înțelegeți formula și modul în care a fost dedusă. Cititorul pe care matematica nu-l atrage se poate foarte bine lipsi de aceasta. Ceea ce este important să înțelegem este caracterul probabilist al cauzalității, neobișnuit pentru gîndirea noastră cea de toate zilele, dar care stă totuși la baza fizicii statistice și a fizicii cuantice. Este remarcabil faptul că în cadrul acestei cauzalități statistice cauza și consecința nu pot fi puse pur și simplu una în locul alteia:

$$P(Pr_c/M_a) \neq P(M_a/Pr_c).$$

În aceasta constă legătura dintre teorema lui Bayes și problema ireversibilității timpului.

Credem că prezintă importanță și un alt aspect al noțiunii de probabilitate condiționată. Sîntem adesea foarte tentați să spunem: „Atîta vreme cît nu știam nimic despre omul acesta, probabilitatea morții lui prin accident „era" $P(M_a)$. După ce am aflat însă că este vorba de un conducător auto, probabilitatea „a crescut", devenind $P\ (M_a/\ Pr_c)$". În fizica cuantică, ca urmare a procesului de măsurare, probabilitățile condiționate se schimbă, ceea ce se interpretează adesea ca o schimbare a stării sistemului. Așa este, de altfel, însăși terminologia devenită tradițională: se vorbește despre probabilitățile „a priori" și „a posteriori", adică „dinainte" și „de după" obținerea informațiilor suplimentare. Iată primul dintre canalele prin care se strecoară în fizica probabilistă erorile subiectiviste.

Cel de-al doilea canal este strîns legat de termenul, astăzi la modă, de „informație", care fără să vrei îți sugerează ideea unui subiect care receptează această informație. Teoria informației a stabilit o strînsă analogie între entropie și informație. De aceea toate reprezentările statistice, inclusiv cele legate de problema timpului, pot fi exprimate în limbajul teoriei informației. Dar în acest înțeles lărgit informația pierde totalmente

Scanned with OKEN Scanner

orice legătură cu vreun subiect. Cînd acest adevăr este dat uitării, apar erori regretabile.

Ideea legăturii dintre sensul unic al scurgerii timpului și creșterea dezordinii în macrocosmul cu a cărui scară de dimensiuni sîntem deprinși aparține unuia dintre clasicii științei contemporane — Ludwig Boltzmann — și, fără îndoială, această idee merită toată atenția. Dar dezvoltarea științei oferă tot mai multe dovezi ale faptului că sensul unic și ireversibilitatea timpului se manifestă și în fenomene cu totul diferite ca natură și proporții. Astfel, dacă ne referim la megacosm, adică la procese cosmice de proporții gigantice, vedem că ireversibilitatea își găsește expresia într-un asemenea fapt, constatat în mod indubitabil de știința contemporană, cum este creșterea distanței dintre galaxii, fapt pe care teoria îl interpretează ca o dilatare a spațiului fizic real. Dacă ireversibilitatea ar fi proprie numai megacosmului, s-ar putea presupune că sensul scurgerii timpului rezultă tocmai din această expansiune cosmologică. Presupunerile de acest tip sînt însă dezmințite de manifestările ireversibilității la nivele cu totul diverse ale existenței materiei. Iată, de pildă, unul din procesele fizice fundamentale: emisia de unde. Ecuațiile inițiale ale acestui proces sînt simetrice în raport cu schimbarea de semn a timpului. Soluția mai comportă însă două unde — una divergentă și alta convergentă, ultima soluție fiind eliminată, din considerente legate de sensul unic al timpului. În electrodinamică, acestui aspect îi corespunde descrierea cîmpului sarcinilor mobile cu ajutorul potențialelor întîrziate, nu al celor avansate[1]. Considerații analoge, numite uneori „principiul cauzalității", sînt folosite și la deducerea relațiilor lui Kramers-Kronig, de mare importanță în electrodinamică. Sensul care se dă aici „principiului cauzalității" este următorul: cauza trebuie să preceadă efectul; înțeles astfel, acest principiu confirmă ireversibilitatea timpului și-i determină sensul de scurgere. Considerații asemănătoare se pot face și cu privire la emisia spontană de particule în procesul de

[1] L. D. Landau, E. M. Lifșiț, *Teoria cîmpului*, Editura Tehnică, București, 1963.

Scanned with OKEN Scanner

dezintegrare radioactivă și în dezintegrarea particulelor elementare. În teoria cuantică emisia de particule este descrisă în același mod ca emisia de unde.

În toate exemplele arătate mai sus, ireversibilitatea și sensul de scurgere a timpului nu rezultă din ecuații, ci din condițiile inițiale. Este vorba însă de condiții inițiale cu caracter foarte general. În megacosm aceste condiții sînt reprezentate de evoluția cronologică de la dens la rarefiat, în microcosm de absența cîmpurilor sau a particulelor la scara infinitului. Dacă lumea în care trăim ar fi suprasaturată de particulele ușoare, așa cum sînt electronii și neutronii, locul dezintegrării beta l-ar lua procesul invers, de sinteză a nucleilor radioactivi. Nu avem nici un motiv să credem că în acest caz scurgerea timpului s-ar inversa.

Să facem următorul experiment mental. Să presupunem că o mostră de substanță radioactivă este înconjurată de un înveliș care are proprietatea de a absorbi particulele ușoare (cel puțin electronii) și să urmărim direcția dezintegrării. Ea va indica, în mod univoc, sensul de scurgere a timpului. Membrana absorbantă este necesară numai pentru crearea vidului. Partizanii concepției probabiliste a ireversibilității vor spune că aceasta este o experiență macroscopică și că dezintegrarea radioactivă se desfășoară în direcția unei stări mai probabile (creșterea entropiei). Se poate răspunde însă că asemenea experiențe se pot face și cu atomi sau cu particule elementare. Dacă considerăm că nucleul atomic, neutronul sau mezonul reprezintă starea inițială, iar electronul și neutrino starea finală, problema sensului de scurgere a timpului este rezolvată. În lumea noastră reală, alcătuită în principal din vid, nu este nevoie de nici un înveliș absorbant.

Mulți fizicieni consideră însă că însușirile esențiale ale universului trebuie să decurgă din ecuațiile fundamentale ale teoriei și nu din condițiile inițiale, care în ochii lor sînt ceva neesențial, de importanță secundară. De aici decurge importanța pe care ei o acordă simetriei legilor fizice elementare în raport cu semnul timpului („simetria T"). Acest gen de simetrie este strîns legat de simetria în raport cu reflectarea în oglindă („simetria

Scanned with OKEN Scanner

P“) și cu înlocuirea particulelor cu antiparticule („simetria *C*“). Conform teoremei *PCT*, toate legitățile fizice trebuie să fie simetrice în raport cu o triplă operație: înlocuirea particulelor cu antiparticule *(C)*, reflectarea în oglindă *(P)* și schimbarea sensului timpului *(T)*. Descoperirea în 1964 a tipului anomal al dezintegrării mezonilor *K*, unde este încălcată simetria *CP*, trebuie interpretată din punctul de vedere al teoremei *PCT* ca o încălcare a simetriei în raport cu schimbarea direcției timpului. Unii fizicieni sînt înclinați să vadă o legătură între acest aspect și ireversibilitatea timpului. Astfel, încă înainte de descoperirea încălcării simetriei în raport cu timpul, cunoscutul fizician englez G. Massey scria: „Presupunerea că există o asemenea simetrie stă la baza termodinamicii“[1].

La prima vedere, această remarcă poate să pară stranie: cum, în termodinamică, în care triumfă tocmai ireversibilitatea, să se pretindă proceselor elementare să fie reversibile? În realitate, punctul de vedere al lui Massey nu este chiar așa de lipsit de temei. Dialectica naturii este plină de surprize: atunci cînd are loc îmbinarea unui număr imens de microprocese, reversibilitatea acestora generează antipodul său — ireversibilitatea macroproceselor. Într-adevăr, unele principii speciale ale termodinamicii — de exemplu principiul echilibrului de detaliu și relațiile lui Onsager — se deduc din reversibilitatea proceselor elementare. S-ar fi putut crede, așa cum și presupunea Massey, că ireversibilitatea la scară micro va modifica substanțial caracterul ireversibilității la scara macro. Dezvoltarea ulterioară a științei n-a oferit însă puncte de sprijin acestor presupuneri. Încălcările simetriei *CP* sînt cunoscute de un șir de ani, dar, pornind de aici, nu s-a evidențiat nici o consecință macroscopică. Problemele simetriei sînt legate într-o măsură mult mai mare (deși nu sînt identice) de invarianță și de separarea însușirilor obiectului de însușirile sistemului de referință[2].

[1] H. Massey, *Noua eră în fizică*, Editura Științifică, București, 1962.

[2] D.A. Frank-Kameneţki, *Invariantnost v sovremennoi fizike* (Invarianța în fizica contemporană), în „Priroda“ nr. 10/1966.

Scanned with OKEN Scanner

Ecuațiile mecanicii clasice conțin timpul numai la gradul doi și, ca urmare, sînt în mod evident simetrice în raport cu inversia lui. Și, cu toate acestea, termodinamica statistică, disciplină care afirmă ireversibilitatea timpului, are la bază tocmai aceste ecuații. Inversia sensului timpului se reduce pur și simplu la inversia tuturor sensurilor mișcării. Este însă limpede ca lumina zilei că faptul că particula se mișcă de la stînga la dreapta sau de la dreapta la stînga nu poate să determine sensul timpului.

Într-un articol, publicat în revista „Uspehi fiziceskoi nauki", L. Schiff a dat, pornind de la exemple clasice destul de simple, o strălucită analiză consecințelor fizice ale inversiei sensului timpului. Rezultatele sînt, la prima vedere, neașteptate. Se știe că există magneți cu doi poli (dipoli), și sarcini electrice separate, dar nimeni nu a observat vreodată magneți cu un singur pol (monopoli) și nici doi poli electrici la una și aceeași particulă elementară. Și iată că acum se dovedește că tocmai simetria în raport cu timpul este cea care interzice existența monopolilor magnetici și a dipolilor electrici elementari. Descoperirea încălcărilor simetriei *PC* i-a încurajat pe fizicieni să caute momentul dipolar la particulele elementare. Dacă există, el este, în orice caz, foarte mic. Cu toate că arta experimentatorilor izbutește uneori să facă adevărate miracole, pînă astăzi, în pofida artificiilor subtile imaginate de teoreticieni, aceste căutări încă nu au dat rezultate pozitive. Iată la ce probleme — foarte îndepărtate de punctul de plecare — ne-a dus ireversibilitatea.

Ne vedem nevoiți să ajungem la concluzia că sensul timpului și simetria în raport cu timpul sînt două lucruri absolut diferite. Simetria în raport cu inversia semnului reprezintă o însușire cantitativă a timpului, care caracterizează timpul ca măsură a mișcării. Sensul scurgerii timpului și ireversibilitatea, strîns legată de acesta, este o însușire calitativă care determină ordinea de succesiune a diverselor intervale de timp, indiferent de durata lor. Exprimîndu-ne matematic, putem spune că sensul scurgerii timpului dinspre trecut spre viitor este dat ca un modul al timpului (o mărime absolută a lui). În ce

Scanned with OKEN Scanner

privește spațiul, încă de mult se face distincția între însușirile lui metrice și cele topologice (calitative). În prezent devine clară importanța delimitării lor și atunci cînd este vorba de timp[1]. Această delimitare se menține și atunci cînd trecem la spațiu-timpul cvadridimensional, căci, așa cum se explică amănunțit în partea a doua a lucrării de față, pentru intervalele de gen temporal, situate în interiorul conului de lumină, se poate determina ordinea de succesiune a evenimentelor.

Există o oarecare legătură între teorema *PCT* și concepția potrivit căreia, atunci cînd antiparticulele iau locul particulelor, acestui fapt îi corespunde inversarea sensului de scurgere a timpului. Uneori această idee este exprimată astfel: în anticosm timpul trebuie să se scurgă înapoi. Cum trebuie înțeleasă această inversie a timpului? Mișcarea unei particule poate fi, într-adevăr, înlocuită cu mișcarea unei particule în sens invers. Dar inversia sensului tuturor vitezelor nu este tot una (această problemă am discutat-o amănunțit în cele de mai sus) cu schimbarea ordinii de succesiune a evenimentelor în timp. Sau, ca să citățm o butadă a lui Fred Hoyle, în anticosm „antiouăle vor continua să se spargă și nicidecum să se autocompună din bucățele". De aceea este greu să cădem de acord cu ipotezele cosmologice care admit „scurgerea înapoi" a timpului în anticosm.

După cum se vede, fizica contemporană are multe puncte de contact cu problema săgeții timpului. Putem considera ca evident faptul că sensul scurgerii timpului *nu este dat de un anumit proces fizic*, oricare ar fi acesta (de exemplu creșterea distanței dintre galaxii sau aceea a entropiei): el reprezintă *o însușire generală a timpului ca atare* și are multe și diverse manifestări concrete. Dacă putem spune că dezvoltarea fizicii particulelor elementare ne-a învățat ceva, aceasta se referă în mod deosebit la înțelegerea deosebirii esențiale dintre însușirile cantitative ale timpului și cele calitative: schimbarea sensului timpului ca variabilă fizică nu are nimic

[1] Z. Augustynek, *Topologhiceskie i gruppovîe svoistva vremeni* (Însușirile topologice și de grup ale timpului), în *Materialî simpoziuma „Dialektika i sovremennîe estestvennîe nauki"*, vîpusk IV, Mîsl, Moscova, 1966.

Scanned with OKEN Scanner

comun cu transformarea viitorului în trecut, cu schimbarea ordinii evenimentelor.

Am insistat aici ceva mai în detaliu asupra sensului (săgeții) timpului, deoarece în textul cărții ea este tratată oarecum unilateral. În rest, aspectele fizice ale problemei sînt, după părerea mea, tratate îndeajuns de plenar și la un bun nivel științific. Autorii capitolelor care alcătuiesc cartea de față sînt fizicieni, nu filozofi. Valoarea acestei cărți constă în faptul că îl familiarizează pe cititor cu o serie de reprezentări fizice avînd o largă semnificație din punctul de vedere al concepției noastre generale asupra lumii. Ea nu are pretenția de a da o analiză filozofică a problemei timpului în totalitatea ei. Celor pe care îi interesează o asemenea analiză le recomand să citească substanțialele lucrări ale lui I.F. Askin[1] și A.M. Mostepanenko[2], care cuprind și largi prezentări critice a literaturii consacrate acestei problematici.

[1] I.F. Askin, *Problema vremeni* (Problema timpului), Mîsl, Moscova, 1966.

[2] A. M. Mostepanenko, *Problema universalnosti osnovnîh svoistv prostranstva i vremeni* (Problema universalității însușirilor fundamentale ale spațiului și timpului), Nauka, Leningrad, 1969.

Scanned with OKEN Scanner

Cuprins

	Pag.
PREFAȚĂ	5
CUVÎNT ÎNAINTE	17
1	
TIMPUL FIZICII CLASICE	23
Jean-Louis Kahn — Sursele măsurării timpului	31
Paul Germain — Timpul mecanicii clasice	45
Jean Delhaye — Timpul astronomilor	60
Bernard Cagnac — Orologii atomice sau moleculare	72
Bernard Decaux — Distribuția timpului	90
Michel Henon — Vîrsta corpurilor cerești	100
2	
SPAȚIUL ȘI TIMPUL	107
Pierre Costabel — Despre cîteva vechi paradoxuri	111
Louis Mariot — Spre descoperirea spațiu-timpului	120
Olivier Costa de Beauregard — Principiul relativității și echivalența fizică dintre spațiu și timp	128

Scanned with OKEN Scanner

3

TIMP ŞI INFORMAŢIE ÎN FIZICA PROBABILISTĂ 145
Olivier Costa de Beauregard — Cel de-al doilea principiu al ştiinţei timpului 150
Jacques Clavier — Timpul şi informaţia: concepte probabiliste 166

4

IDEEA DE TIMP ÎN MICROFIZICĂ 173
Robert Lennuier — Ideea de timp în fizica modernă 176
Concluzie 191
BIBLIOGRAFIE SUMARĂ 193
ANEXĂ
D.A. Frank-Kameneţki — Timpul şi ireversibilitatea lui în fizica clasică şi în microfizică 194

Scanned with OKEN Scanner

În colecția

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

a apărut:

B.G. Kuznețov

ȘTIINȚA ÎN ANUL 2000

O știință nouă — futurologia — știința despre viitor; un autor de prestigiu, gînditor îndrăzneț și profund; o lucrare originală, de o factură neobișnuită, care reușește să redea „suflul timpului". Punînd în evidență schimbările esențiale pe care „secolul lui Einstein" le-a adus în concepțiile, metodele și idealurile științei, autorul trasează prognoza uimitoarelor realizări ale științei și tehnicii în următoarele 3—4 decenii. Dezvoltarea *Fizicii ultrarelativiste* va revoluționa teoria particulelor elementare. Explorarea microcosmosului se va îmbina cu cercetarea spațiilor metagalactice de pe observatoare situate în afara sistemului solar. Autorul schițează contururile *civilizației postatomice*, în care munca omenească va fi radical transformată și în care omul va începe să domine procesele fiziologice, inclusiv cele de care depind îmbătrînirea și moartea.

Lucrarea este interesantă atît prin viziunea de ansamblu a treptelor pe care le va urca gîndirea și acțiunea umană, cît și prin previziunile privind fiecare din diversele științe și discipline: matematica, cibernetica, energetica, electronica

Scanned with OKEN Scanner

cuantică, biologia moleculară, astrofizica etc. sau surprinzătoarele efecte ale intersectării lor. Ea se caracterizează prin vastitatea documentării și scrupulozitatea în alegerea faptelor, prin seriozitatea analizei și capacitatea de sinteză, prin lărgimea orizontului științific, filozofic și social. O lectură captivantă pentru orice intelectual.

Scanned with OKEN Scanner

În colecția

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

a apărut:

Toma Vescan

CUANTELE, O REVOLUȚIE ÎN FIZICĂ

Alături de teoria relativității, mecanica cuantică este un nou capitol al fizicii care a revoluționat cunoștințele noastre și imaginea de ansamblu pe care ne-am făcut-o asupra lumii. Lucrarea corespunde cerinței imperios resimțite de a face accesibilă cititorului fără o solidă pregătire matematică această disciplină indispensabilă pentru a înțelege uriașele realizări ale fizicienilor din ultimele patru decenii. Prezentînd mecanica cuantică în nașterea și dezvoltarea ei, autorul reușește să pună în evidență aportul adus de marile personalități ale fizicii contemporane: Einstein, Rutherford, Bohr, Sommerfeld, de Broglie, Schrödinger, Born, Heisenberg, Pauli și alții. O bogată și sugestivă ilustrație contribuie la accesibilitatea lucrării.

Scanned with OKEN Scanner

EB

J. L.
Rigal

Timpul şi gîndirea fizică contemporană

Destinată unui public larg, lucrarea de față, scrisă de un colectiv de eminenți savanți francezi, este consacrată uneia dintre problemele centrale ale științei și ale concepției omului modern despre lume: problema timpului. Fizica nouă a secolului XX a reușit să supună însușirile timpului și spațiului unei riguroase analize fizice și matematice, dar sensurile ascunse sub formule matematice s-au dovedit greu de descifrat chiar pentru unii oameni de știință. Oferind cititorului o interesantă prezentare a evoluției noțiunii de timp de la vechii greci pînă în zilele noastre, autorii articolelor incluse în acest volum pun accentul pe repercusiunile noilor descoperiri și teorii științifice asupra concepțiilor noastre despre timp.

Lucrarea se distinge printr-o tratare multilaterală, profundă și totodată accesibilă a problemelor.

Partea întîi a lucrării este consacrată analizei noțiunii de timp în cadrul mecanicii clasice și problemei măsurării timpului. În partea a doua este pus în evidență caracterul revoluționar al conceptului de spațiu-timp elaborat de Einstein. Partea a treia prezintă o serie de aspecte legate de interpretarea probabilistă a noțiunii de timp. Problema ireversibilității timpului este amplu discutată. În partea a patra cititorul, pătrunzînd în microcosmos, face cunoștință cu dificultățile principale care apar în interpretarea desfășurării temporale a fenomenelor cuantice.

Lei 6,25

Scanned with OKEN Scanner